

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Применение ВЧФ-плазмотронов для плазменной обработки технических лигнинов
УДК 533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Б	Пиунова Ксения Георгиевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТФ ФТИ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	М. В. Верховская	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф.ПФ ФТИ	Т. С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ТФ ФТИ	И.В. Шаманин	к.ф.-м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт _____
Направление подготовки _____
Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Шаманин И.В.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Б	Пиунова Ксения Георгиевна

Тема работы:

Применение ВЧФ-плазмотронов для плазменной обработки технических лигнинов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	04.02.2016 № 791/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать процесс плазменной утилизации технических лигнинов в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда в виде горючих водно-органических композиций (ВОК). Определить условия, обеспечивающие энергоэффективность и экологическую безопасность исследуемого процесса утилизации
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>При разработке магистерской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор процесса варки целлюлозы и получения гидролизного лигнина, традиционных методов переработки технических лигнинов. 2. Обзор видов генераторов низкотемпературной плазмы и их областей применений. 3. Моделирование процесса плазменной утилизации сульфатного и гидролизного лигнина в воздушной плазме ВЧФ-разряда. Рекомендовать оптимальные составы ВОК на основе сульфатного и гидролизного лигнина, режимы для практической реализации процесса утилизации. 4. Экспериментальное подтверждение рекомендованных условий для разрабатываемого процесса плазменной утилизации отходов. 5. Экономическое обоснование проведения НИР. 6. Выводы по работе. Заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	Доцент кафедры «Техническая физика» Каренгин А.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры «Менеджмент» Верховская М.В.
Социальная ответственность	Ассистент кафедры «Прикладная физика» Гоголева Т.С.
Часть на иностранном языке	Преподаватель кафедры иностранных языков физико-технического института Ермакова Я.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Plasma recycle sludge lignin	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каренгин А.Г.	к.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Б	Пиунова К.Г.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4Б	Пиунова Ксения Георгиевна

Институт	Физико-технический	Кафедра	ТФ
Уровень образования	магистратура	Направление	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

<p style="text-align: center;">1. Оценочная карта конкурентных технических решений</p> <p style="text-align: center;">2. Матрица SWOT</p> <p style="text-align: center;">3. Иерархическая структура работ</p> <p style="text-align: center;">4. Календарный план проекта</p> <p style="text-align: center;">5. Бюджет проекта</p> <p style="text-align: center;">6. Определение ресурсоэффективности проекта</p>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4Б	Пиунова Ксения Георгиевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Б	Пиуновой Ксении Георгиевне

Институт	Физико-технический	Кафедра	Техническая физика
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02. «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение, вредные вещества); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – химические вредные вещества; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т. С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Б	Пиунова Ксения Георгиевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страницы, 45 рисунков, 26 таблиц, 30 источников, 34 формулы, 14 приложений.

Ключевые слова: плазма, сульфатный лигнин, гидролизный лигнин, варка целлюлозы, гидролиз, водно-органическая композиция, плазмотрон.

Объектом исследования является применение ВЧФ-плазмотронов для плазменной обработки технических лигнинов.

Цель работы – исследование процесса плазменной утилизации технических лигнинов в воздушной плазме ВЧФ-разряда в виде оптимальных водно-органических композиций.

В процессе исследования проводились расчет и оптимизация показателей горения водно-органических композиций на основе сульфатного и гидролизного лигнина и режимов их плазменной утилизации в воздушной плазме.

В результате исследования определены оптимальные составы водно-органических композиций на основе сульфатного и гидролизного лигнина и рекомендованы для практической реализации ресурсоэффективные режимы их плазменной утилизации, которые подтверждены экспериментальным путем на модельных отходах.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании ресурсоэффективной плазменной технологии для утилизации технических лигнинов.

Определения

Плазма – полностью или частично ионизированный газ, состоящий из заряженных частиц (ионов и электронов) и нейтральных атомов или молекул. Основная особенность плазмы – квазинейтральность, при которой объемные плотности отрицательных и положительных заряженных частиц, из которых образована плазма, оказываются одинаковыми.

Плазмотрон – устройство, генерирующее потоки плазмы.

Утилизация – использование вторичных ресурсов и ресурсов не находящихся прямого применения, а также отходов производства и потребления.

$T_{всп}$ – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако, устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает.

$T_{воспл}$ – наименьшая температура вещества, при которой пары над поверхностью горючего вещества выделяются с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

$T_{самовоспл}$ – наименьшая температура горючего вещества, при нагреве до которой происходит резкое увеличение скорости реакций, приводящее к возникновению пламенного горения или взрыва.

Оглавление

Введение.....	13
1 Высокочастотные генераторы плазмы и перспективы их применения для обработки технических лигнинов.....	15
1.1 Образование и способы обработки технических лигнинов в целлюлозно-бумажной промышленности	15
1.1.1 Сульфитная варка.....	16
1.1.2 Сульфатная варка	17
1.1.3 Термический способ утилизации отходов целлюлозно-бумажного производства	19
1.2 Гидролизный лигнин.....	22
1.2.1 Получение гидролизного лигнина	22
1.2.2 Переработка гидролизного лигнина	24
1.3 Высокочастотные генераторы низкотемпературной плазмы	25
1.3.1 Высокочастотные индукционные плазмотроны.....	26
1.3.1.1 ВЧИ-плазмотроны с водяным охлаждением.....	28
1.3.1.2 ВЧИ-плазмотроны с газовой термозащитой стенок камеры	28
1.3.1.3 Разрядные пористые ВЧИ камеры.....	30
1.3.1.4 Конструкции ВЧИ-плазмотронов с металлическими разрезными водоохлаждаемыми камерами	30
1.3.2 Высокочастотные емкостные плазмотроны (ВЧЕ)	32
1.3.2.1 ВЧЕ-плазмотроны линейной схемы.....	33
1.3.2.2 Линейно-тороидальные ВЧЕ-плазмотроны.....	34
1.3.2.3 ВЧЕ-плазмотрон с плоской геометрией электродов	34
1.3.2.4 ВЧЕ-плазмотроны с коаксиальной геометрией электродов	35
1.3.3 Высокочастотные факельные плазмотроны.....	35
1.4 Перспективы применения высокочастотных факельных плазмотронов для плазменной обработки технических лигнинов в виде диспергированных горючих композиций	38

2	Расчет и оптимизация процесса плазменной утилизации сульфатного и гидролизного лигнина.....	41
2.1	Расчет показателей горения в виде водно-органических композиций	41
2.2	Термодинамический расчет плазменной утилизации сульфатного лигнина в воздушной плазме	42
2.3	Термодинамический расчет плазменной утилизации гидролизного лигнина в воздушной плазме	49
3	Экспериментальное исследование процесса плазменной обработки технических лигнинов	56
3.1	Схема плазменной установки на базе ВЧФ-плазмотрона.....	56
3.2	Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона	59
3.3	Определение расхода воздуха через газоход и реактор плазменного стенда	61
3.4	Исследование режимов работы ВЧФ-плазмотрона.....	63
3.5	Экспериментальные исследования процесса плазменной утилизации сульфатного лигнина	66
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	67
4.1	Предпроектный анализ	67
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	67
4.1.2	SWOT-анализ.....	68
4.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	69
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	69
4.2.2	Контрольные события проекта.....	70
4.2.3	План проекта.....	71
4.3	Бюджет научно-технического исследования	71
4.3.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	71
4.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	73

4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	74
4.3.4	Дополнительная заработная плата	75
4.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	76
4.3.6	Накладные расходы	77
4.3.7	Контрагентные расходы	77
4.3.8	Формирование бюджета научно-исследовательского проекта.....	78
4.4	Расчет бюджета традиционного метода утилизации.....	79
4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	79
4.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование	79
4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	80
4.4.4	Дополнительная заработная плата	80
4.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	81
4.4.6	Накладные расходы	81
4.4.7	Контрагентные расходы	81
4.4.8	Формирование бюджета научно-исследовательского проекта.....	82
4.5	Организационная структура проекта	82
4.6	Матрица ответственности	83
4.7	Определение интегрального показателя эффективности.....	84
5	Социальная ответственность	87
5.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов при работе в лаборатории	87
5.2	Требования к ПЭВМ и организация работы	89
5.2.1	Организационные мероприятия	89
5.2.2	Технические мероприятия	89
5.2.3	Условия безопасной работы	91
5.3	Электробезопасность	93
5.4	Пожарная и взрывная безопасность	96
	Выводы	98
	Заключение	99
	Список публикаций.....	100

Список используемых источников	102
Приложение А (справочное) Теплота сгорания влажного сульфатного лигнина	106
Приложение Б (справочное) Теплота сгорания влажного гидролизного лигнина	107
Приложение В (справочное) Определение расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон	108
Приложение Г (справочное) Определение расхода воздушного потока через газоход и реактор плазменного стенда без узла ввода	109
Приложение Д (справочное) Определение расхода воздушного потока через газоход и реактор плазменного стенда с учетом узла ввода	110
Приложение Е (справочное) Режимы работы ВЧГ и плазменного стенда	111
Приложение Ж (Справочное) Матрица SWOT	112
Приложение З (Справочное) Интерактивная матрица проекта	113
Приложение И (Справочное) Итоговая матрица SWOT-анализа	114
Приложение К (Справочное) Перечень этапов, работ и распределение исполнителей	116
Приложение Л (Справочное) Календарный план-график	117
Приложение М (Справочное) Матрица ответственности	118
Приложение Н (Справочное) Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта	119
Приложение О (обязательное) Plasma recycle sludge lignin	120

Введение

Одна из актуальных задач рационального природопользования – решение проблемы утилизации крупнотоннажных промышленных отходов. Накопленные промышленные отходы занимают значительные земельные территории, выступают источником загрязнения окружающей среды, следствием чего является ухудшение условий жизни человека.

Количество некоторых углеродсодержащих отходов столь велико, что их рассматривают как вторичные техногенные сырьевые ресурсы.

Лигнин как составная часть древесины наиболее трудноутилизируемый отход, который образуется при ее химической переработке на целлюлозно-бумажных и гидролизных предприятиях.

По данным Международного института лигнина (International Lignin Institute) в мире используется не более 2 % всех видов технических лигнинов. Большая часть отходов производства отправляется в могильники на территории предприятия или сжигается.

В настоящее время отсутствуют исчерпывающие технические решения по утилизации технических лигнинов, хотя обзор научной литературы последних лет свидетельствует о возрастающем интересе исследователей к этому сырьевому ресурсу.

В связи с этим представляет интерес проведение утилизации технических лигнинов в условиях высоких плазменных температур.

На кафедре «Техническая физика» Национального исследовательского Томского политехнического университета на протяжении ряда лет ведутся исследования по переработке различных промышленных отходов в условиях воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда (нефтяные и угольные шламы, древесные отходы: пыль и опилки, отходы после очистки питьевой воды), а также поиски новых областей промышленного применения такой плазмы; созданы стационарные и передвижные плазменные установки

для утилизации органических отходов, имеется разрешительная документация на их производство и применение.

Целью работы является исследование процесса плазменной утилизации технических лигнинов в воздушной плазме ВЧФ-разряда в виде оптимальных водно-органических композиций.

Задачи, которые необходимо было решить для достижения поставленной цели:

1 Аналитический обзор процесса варки целлюлозы и получения гидролизного лигнина, традиционных методов переработки технических лигнинов.

2 Обзор видов генераторов низкотемпературной плазмы и их областей применений.

3 Моделирование процесса плазменной утилизации сульфатного и гидролизного лигнина в воздушной плазме ВЧФ-разряда. Рекомендовать оптимальные составы ВОК на основе сульфатного и гидролизного лигнина, режимы для практической реализации процесса утилизации.

4 Экспериментальное подтверждение рекомендованных условий для разрабатываемого процесса плазменной утилизации отходов.

1 Высокочастотные генераторы плазмы и перспективы их применения для обработки технических лигнинов

1.1 Образование и способы обработки технических лигнинов в целлюлозно-бумажной промышленности

Лигнин - это ароматическая часть древесинного вещества. Различают два вида лигнина. Первый протолигнин, который находится внутри растения в первоначальной форме, второй – технические формы лигнина, получаемые из растительной ткани при ее модификации химическими методами.

Удаление лигнина или делигнификация - важный процесс химической обработки растительного сырья. Удаление осуществляют при получении технической целлюлозы и других лигнополуфабрикатов с помощью варочного процесса (варки целлюлозы) [1].

Дополнительную делигнификацию целлюлозы проводят для получения беленой целлюлозы, которая используется для бумаги и целлюлозы для химической переработки. С химической точки зрения, процесс варки можно разделить на 2 группы реакций: реакции, растворяющие лигнин, и реакции, затрудняющие этот процесс (реакции конденсации).

Процесс варки (варочный процесс) – это обработка подготовленной древесины (технологическая щепка, иногда опилки) или иного растительного сырья специальным раствором, в условиях повышенной температуры и соответствующем давлении, для получения разных технических видов целлюлозы. Варка – сложный комплекс процессов, на который оказывают влияние физико-химические факторы: распределение компонентов в клеточной стенке и их набухание в растворе; степень деструкции лигнина, полисахаридов и расщепление лигноуглеводных связей; скорость диффузии продуктов реакций; соотношение между сорбцией и десорбцией компонентов варочного раствора и продуктов реакций клеточными стенками и др. [2].

Лигнин и его измененные формы (технические лигнины) являются отходами химического и целлюлозного производства. В процессе этого

производства в 2-3 раза уменьшается молекулярная масса лигнина, и возрастает его химическая активность.

Существуют две основные технологии варки целлюлозы, наиболее распространена сульфатная варка (щелочная), сульфитная (кислотная) варка используется реже [3].

1.1.1 Сульфитная варка

Сульфированию лигнина уделялось достаточно большое значение в химии лигнина. Это в значительной степени является следствием обширных исследований в направлении улучшения сульфитного варочного процесса и использование отработанного сульфитного щелока. Значительное внимание реакции сульфирования уделялось также с целью выяснения некоторых положений по структуре лигнина.

При сульфировании лигнина протекают три реакции: сульфирование, гидролиз и конденсация. Им сопутствуют такие второстепенные реакции, как окисление, восстановление, перегруппировки, дегидратация и т.д. [4, 5].

Температура варки – один из главнейших факторов сульфитной варки. Повышение температуры ускоряет все реакции и процессы варки: пропитку, сульфонирование лигнина, гидролиз образующихся лигносульфоновых кислот, а также углеводов. Однако, при повышении температуры варки и уменьшении времени варочного процесса, снижается выход целлюлозы одинаково проваренной степени. Это связано с тем, что с повышением температуры ухудшается избирательность варки (гидролиз углеводов ускоряется в большей степени, чем делигнификация). Оптимальная температура варки $130 \div 150$ С, давление при этом $0,5 \div 1$ МПа [6].

Далее после процесса варки проводят промывку и очистку целлюлозной массы, а также отбелку, обезвоживание и сушку целлюлозы.

1.1.2 Сульфатная варка

Доля сульфатного метода варки в мире долгое время оставалась на низком уровне из-за темного цвета получаемой целлюлозы. Со временем потребность в сульфатной целлюлозе только возрастала, ее использовали в производстве тары и картона, электроизоляционных видов бумаги, которые из сульфитной целлюлозы не получали. На сегодняшний день в мире получают 95 % всей целлюлозы сульфатным способом [7,8].

Структурная технологическая схема производства сульфатной целлюлозы представлена на рисунке 1.

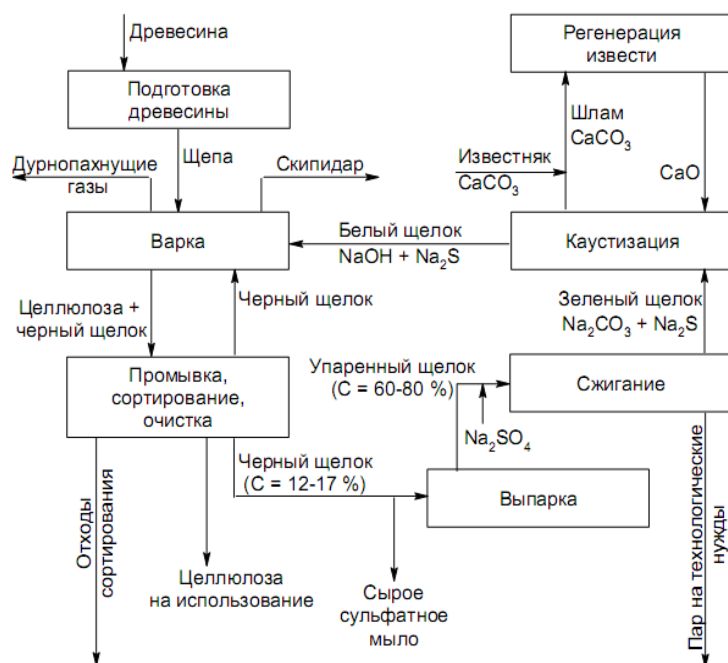


Рисунок 1 – Структурная технологическая схема производства сульфатной целлюлозы

Древесина после измельчения до состояния технологической щепы отправляется на варку. Варка происходит 2 способами: периодическим или непрерывным методом в котле, куда к щепе добавляют варочный раствор – белый щелок и часть черного (уже отработанного) щелока.

Котел нагревают с помощью паровых подогревателей и в процессе подъема температуры проводят сдвuku, вместе с которой из котла уходят пары

скипидара, оставшегося воздуха и пары воды. Далее сдувки отправляют на остывание и получение скипидара.

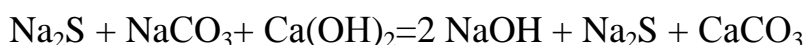
На конечной температуре (от 150 до 170 °С) устраивают стоянку, тем самым выдерживают котел от 0,5 до 3 часов, для получения нужного вида целлюлозы [9].

По окончанию варки варочный раствор поступает на сортирование, где происходит отделение целлюлозы от массы отходов и на промывку, где целлюлозу отделяют от черного щелока. Промытая целлюлоза может быть использована в небеленом виде либо направлена на дополнительную отбелку, для производства картона и бумаги.

Отделенный черный щелок после промывки направляется на регенерацию химикатов, основные этапы которой: выпарка, сжигание вместе с свежим сульфатом натрия и каустизация щелоков.

В процессе сжигания сульфат натрия восстанавливается углеродом до сульфида натрия в результате химических реакций, и большинство соединений натрия под действием CO_2 карбонизируется до Na_2CO_3 . Поэтому плав, так называемый зеленый щелок, содержит главным образом NaCO_3 и Na_2S .

Далее полученный плав растворяют в белом щелоке и направляют на каустизацию (реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$) для перевода карбоната в гидроксид натрия.



Полученный белый щелок, с NaOH , снова используют для варки. Выделенный осадок CaCO_3 подвергают обжигу в известерегенерационных печах при температуре 1100 – 1200 °С. При этом происходит следующая реакция:



Оксид кальция вновь применяют для каустицирования [10].

Сульфатная варка – сложный технологический процесс с замкнутой системой регенерации реагентов и имеет ряд следующих преимуществ перед сульфитным методом:

— Используются любые виды древесины и тростника (при сульфитном методе обработке можно использовать только хвойные породы, осину, березу и тополь)

— Потери реагентов в производственном цикле намного ниже, благодаря замкнутой системе регенерации;

— Использование упаренного щелока и утилизация выделившегося тепла обеспечивают 75 % затрат электроэнергии;

— Прочная структура сульфатной целлюлозы делает ее универсальным сырьем для изготовления любых видов бумаги и картона.

Основными недостатками данного метода являются:

— Не высокий выход целлюлозы в сравнении с сульфитным методом (на 3-4%);

— Дурнопахнущие газы, образующиеся на следующих стадиях: варка, выпарка и сжигание;

— Темный цвет волокна и его затрудненная белимость.

Шлам-лигнин выделяется при очистке сточных вод сульфатцеллюлозного производства, переработка которого представляет значительную трудность [11,12].

1.1.3 Термический способ утилизации отходов целлюлозно-бумажного производства

В целлюлозно-бумажной промышленности расходуются значительные количества воды, в том числе и свежей. Расход воды на единицу продукции составляет: на 1 т целлюлозы 900 м³. Количество сточных вод равно 85 м³ на 1 т целлюлозы, 28 м³ на 1 т бумаги и 26 м³ на 1 т картона. Расход воды на хозяйственно-бытовые нужды не превышает 2 м³ на единицу продукции [13].

В целлюлозно-бумажной промышленности все больше внимания уделяется дифференциации потоков сточных вод и локальной их очистке в

качестве промежуточной либо окончательной ступени. Производственные сточные воды разделяются на следующие потоки:

- Стоки, содержащие щелок сульфатцеллюлозного производства (образующиеся при варке, промывке, выпарке и отбелики продукции);
- Стоки, содержащие волокно (образующиеся при сушке и промывки целлюлозы, а также стоки бумажного и картонного производства);
- Стоки, содержащие кору (образуются окорке древесины);
- Кислые стоки и стоки, содержащие шлам (образуются в процессе приготовления варочной кислоты и химикатов, при каустизации и пр.);
- Условно-чистые воды (образующиеся при охлаждении аппаратуры и промывке технологического оборудования).

Для очистки загрязненных производственных сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности нашли применение методы механической, биологической (в аэротенках, в аэрируемых прудах) и химической очистки. При биологической очистке в аэротенках обеспечивается удаление из сточных вод легко окисляемых органических соединений. Однако содержащиеся в сточных водах трудноокисляемые органические вещества, такие как щелочной, лигнин, в процессе биологической очистки не окисляются или окисляются незначительно.

Одним из наиболее разработанных направлений физико-химической очистки сточных вод сульфатцеллюлозного производства является обработка их неорганическими реагентами, среди которых наибольшее применение имеют известь и сернокислый алюминий [13].

Под действием сернокислого алюминия и серной кислоты происходит коагуляция лигнина, т.е. слипание коллоидных частиц и образование хлопьев, выпадающих в осадок. Количество осадка составляет 12-13 % от объема обработанной сточной воды.

Затем сгущенный осадок поступает на сгущение, обезвоживание и сжигание.

Процесс сгущения шлам-лигнина методом напорной флотации заключается в предварительном насыщении его воздухом под давлением и последующим разделении на твёрдую и жидкую фазу.

Флотошлам накапливается в верхнем слое воды, откуда подается на обезвоживание. Для укрупнения частиц осадка и обеспечения лучшего разделения твердой и жидкой фаз, шлам предварительно обрабатывается раствором флокулянта. Флотошлам винтовыми насосами подается на центрипрессы через фильтры грубой очистки.

Флотошлам (обезвоженный до влажности 80-85 %) подается конвейерами в приемный бункер. Из приемного бункера осадок попадает в сушилку, представляющую собой вращающийся барабан, куда подается отработанный газ после печи с температурой 800-900 °С. Подсушенный в сушилке осадок (влажность 65-69 %), подается в печь с помощью конвейера для подачи осадка.

Самым распространенным методом сжигания обезвоженного шлам-лигнина является термическая обработка их в печах с кипящим слоем. Для создания «кипящего слоя» применяют кварцевый песок.

Термические печи кипящего слоя (КС) работают в двух режимах:

1. В режиме сушки осадка готовым продуктом является шлам-лигнин.

2. При работе печей КС в режиме сжигания осадка образуется зола.

При режиме сушки осадка, для регулирования температуры воздуха на выходе из печи, часть воздуха после мультициклона направляется обратно в печь с помощью вентилятора рециркуляции воздуха [14].

Шлам-лигнин, высушенный в сушилке до влажности 10-20 %, выгружается, проходит через перекидные заслонки и подается на конвейер готового продукта. Затем конвейером-подъемником подается в бункеры для хранения.

Значительная часть золы (порядка 99%), выводится в виде пыли из печи вместе с отработанным газом. Газ проходит сушилку, откуда подается в бункер,

где отделяется зола от газа, отделившаяся часть попадет на конвейер и отправляется в бункер хранения золы. Отработанный газ после стадии сушки с температурой 180-200 °С попадает в мультициклон, в котором улавливается 85 % пыли и золы, которая не отделилась в мультициклоне. Далее газ отправляется в скруббер для дальнейшей доочистки от пыли и сернистого ангидрида с помощью орошения 5 % раствором каустической соды. В скруббере газ очищается от пыли на 98 %, от сернистого ангидрида на 96-97 % [15].

Очищенный газ через дымосос (с температурой не более 82 °С) подает в дымовую трубу, а затем в атмосферу. Технологическая схема переработки осадка представлена на рисунке 2.

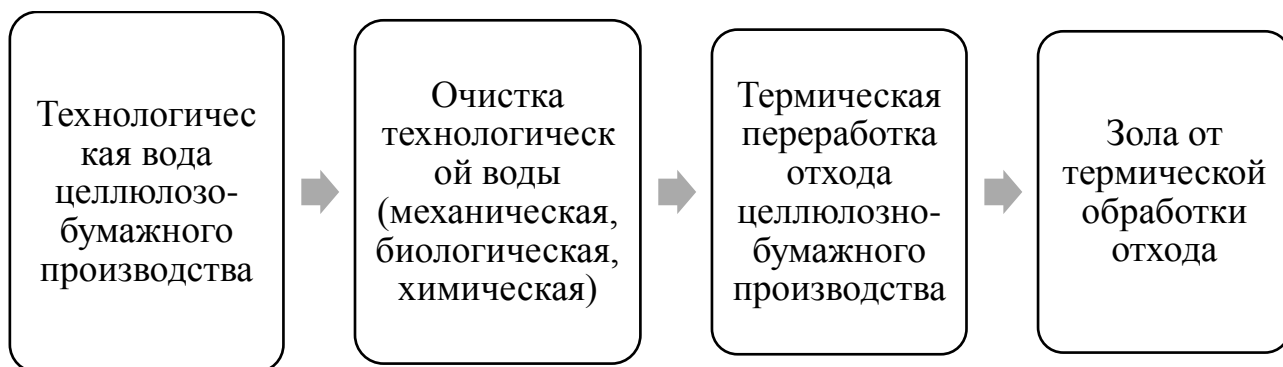


Рисунок 2 – Технологическая схема переработки отходов сульфат-целлюлозного производства

1.2 Гидролизный лигнин

1.2.1 Получение гидролизного лигнина

Основным промышленным методом производства гидролизного лигнина в России является перколяционный (от лат. *percōlāre*, просачиваться, протекать) гидролиз древесины. В составе раствора находится серная кислота концентрацией 0,2 – 1 %, процесс проходит без регенерации кислоты, параметры среды: температура 180 – 190 °С, давление 1 – 1,5 МПа. Особенность метода – это периодическая загрузка древесины и серной кислоты, которая непрерывно фильтруется через сырье и образовавшиеся в процессе

гидролиза сахара с раствором непрерывно удаляются из системы. Раствор кислоты, включающий различные виды сахаров и другие продукты распада, называют гидролизатом [16].

Процесс проводится в вертикальных цилиндрических аппаратах объемом 30 – 160 м³, изготовленных из кислотостойкой легированной стали. Аппарат имеет верхнюю сферическую крышку и нижнюю коническую часть. Верхняя крышка имеет загрузочное окно, штуцера для подачи варочной кислоты и выхлопные штуцера для отвода воздуха. Нижняя часть заканчивается разгрузочным отверстием, откуда выгружается лигнин под действием силы тяжести и остаточного давления, рисунок 3.

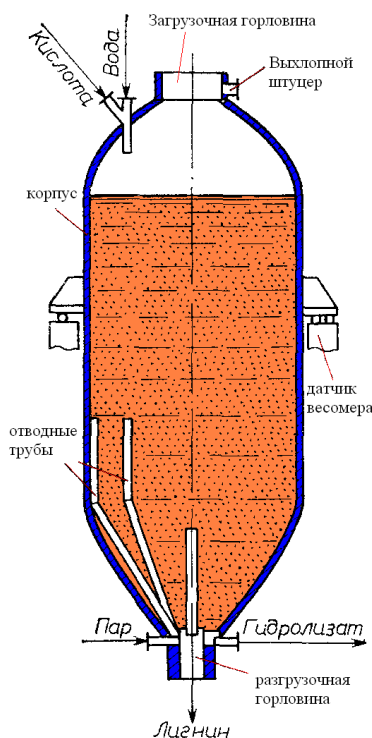


Рисунок 3 – Схема гидролиз аппарата

Процесс гидролиза древесины можно разделить на несколько этапов: загрузка измельченного сырья, закачка кислоты, подогрев, перколяция, промывка лигнина водой, отжим остатка гидролизата и удаление лигнина из гидролиз-аппарата [17].

Удаление лигнина из гидролиз-аппарата проводят с помощью сдувки пара до давления 0,6 – 0,7 МПа, после чего открывают клапан и лигнин устремляется по выдувной трубе в циклон. В циклоне происходит отделение

лигнина от паров гидролиза, лигнин сосредотачивается на днище циклона из которого он удаляется выгребным механизмом. Отделенный лигнин используют по назначению [18].

В промышленности используют несколько режимов гидролиза в зависимости от требований к продукции, самыми распространенными являются ступенчатый гидролиз и гидролиз с замкнутым циклом.

Ступенчатый гидролиз используют для обработки легкогидролизуемых пентозанов (хлопковой, рисовой и овсяной шелухи, кукурузной кочерыжки, и древесины лиственных пород). Данным видом гидролиза получают пентозный и гексозный гидролизат по отдельности. Из гексозных получают дрожжи или этиловый спирт, а из пентозных – ксилит.

Заслуживает внимания режим гидролиза древесины с замкнутым циклом водопользования, который осваивается гидролизными заводами. Такой режим гидролиза древесины направлен на снижение объемов сточных вод и охрану окружающей среды и предусматривает использование на гидролиз вместо чистой воды производственных стоков (в частности на Кировском биохимическом заводе), состоящих из дрожжевой бражки, фурфурольного лютера и конденсата выпарных станций [19, 20].

1.2.2 Переработка гидролизного лигнина

Чаще всего лигнин на гидролизных заводах подвергают сжиганию, однако этот метод нельзя назвать рациональным в виду потенциальной ценности сырья.

Наиболее перспективным способом утилизации гидролизных лигнинов называют пиролиз, при котором получают углеродсодержащие материалы - ценные твердые, жидкие и газообразные продукты. Уголь, получаемый при пиролизе близок по своим физико-химическим свойствам к древесному углю с содержанием 70-90 % углерода, 10-30 % летучих веществ и теплотворной

способностью 7000 ккал/кг. Лигниновый уголь может найти применение в качестве бытового топлива, восстановителя и при производстве сорбентов [21].

Проведенные исследования показали, что порошкообразные препараты активных углей могут быть использованы в качестве осветляющих сорбентов в медицинской и пищевой промышленности [22].

Самым большим потребителем лигниновых углей является металлургия, которая использует их в качестве восстановителя.

1.3 Высокочастотные генераторы низкотемпературной плазмы

Для получения чистых и сверхчистых веществ и материалов применяют так называемые безэлектродные плазмотроны. К последним относятся высокочастотные (ВЧ) и сверхвысокочастотные (СВЧ) генераторы низкотемпературной плазмы [23].

Условно к первым относят разряды, которые горят на частотах от нескольких сотен килогерц до десятков мегагерц, а ко вторым зажигаемые на больших частотах - вплоть до миллиметрового диапазона волн (сотни гигагерц).

Особенность работы безэлектродных генераторов низкотемпературной плазмы заключается в том, что плазмообразующий газ во время работы плазмотрона не соприкасается с электродами, а поэтому природа газа не имеет существенного значения.

В настоящее время получили распространение плазмотроны [24, 25]:

- высокочастотные индукционные (ВЧИ), в которых используется высокочастотный безэлектродный разряд Н-типа;
- высокочастотные емкостные (ВЧЕ), в которых возбуждается высокочастотный разряд Е-типа с внешними электродами;
- высокочастотные факельные (ВЧФ), использующие высокочастотный моноэлектродный разряд;

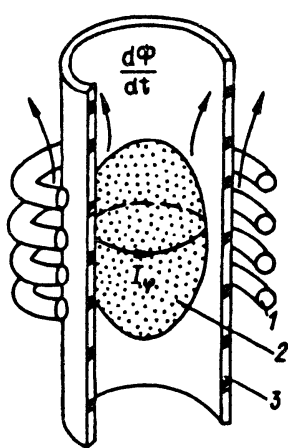
— сверхвысокочастотные (СВЧ), в которых разряд возбуждается в полых волноводах.

ВЧ-плазмотроны обычно работают при атмосферном давлении в диапазоне частот 200 кГц-40 МГц при мощности разряда 0,2-650 кВт и расходе плазмообразующего газа от нуля до 0,3 м³/с [26].

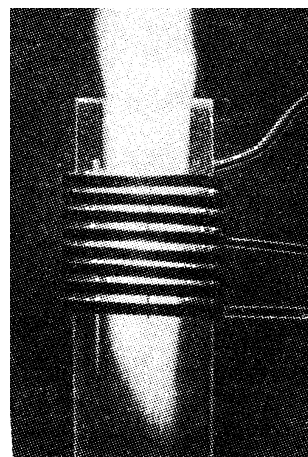
1.3.1 Высокочастотные индукционные плазмотроны

Высокочастотный индукционный плазмотрон (ВЧИ) — это устройство в котором при атмосферном давлении получают плазму в диапазоне температур 7000-11000 К. Современные ВЧИ плазмотроны обладают мощностью от 1 до 1000 киловатт, нагрев в безэлектродном плазмотроне подчиняется известному закону электромагнитной индукции. Другими словами, происходит нагрев проводящей среды, в данном случае плазмы, в переменном электромагнитном поле.

Переменное высокочастотное магнитное поле $d\Phi/dt$ индуцирует кольцевой ток, рисунок 4 [27].



а



б

Рисунок 4 – Индукционный нагрев плазмы (а) и фотография ВЧИ-плазмотрона (б); 1 – индуктор, 2 – ВЧИ плазма, 3 – труба из кварца

Кольцевая безэлектродная форма тока определяет чистоту плазмы, не загрязненную металлами электродов. Образование проводящей среды при атмосферном давлении происходит за счет предварительного «розжига» реактора, т.е. ионизации от постороннего источника. Данный тип плазмотрона обладает неограниченным ресурсом работы в любой газовой среде.

Основные типы ВЧИ представлены на рисунке 5.

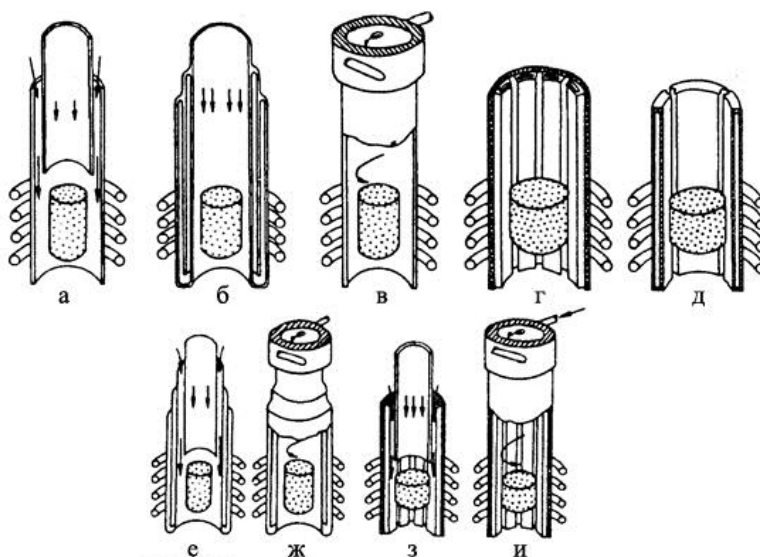


Рисунок 5 – Основные типы ВЧИ-плазмотронов. а – кварцевая камера без охлаждения с аксиальной газовой стабилизацией; б – кварцевая камера, охлаждаемая водой с несформированным аксиальным потоком; в – кварцевая камера без охлаждения, вихревая стабилизация; г – металлическая разрезная камера с охлаждением кварцевым чехлом; д – металлическая разрезная камера с огнеупорными вставками для охлаждения; е – кварцевая водоохлаждаемая камера с аксиальной стабилизацией; ж – кварцевая камера охлаждаемая водой с вихревой стабилизацией; з – металлическая камера с разрезными участками для охлаждения, аксиальная стабилизация; и – металлическая разрезная камера с охлаждением, вихревая стабилизация.

1.3.1.1 ВЧИ-плазмотроны с водяным охлаждением

Самым простым способом охлаждения камеры является наружное водяное охлаждение. Основными конструкциями водоохлаждаемых разрядных камер являются клееные, сборно-разборные и сварные.

В клееной конструкции разрядная камера и чехол кварцевые, скрепление с водопроводящими трубками производится с помощью клеевых паст.

Частой проблемой камер с водяным охлаждением является растрескивание кварцевой трубы от термоудара плазмы, в следствие чего необходима частая замена ее конструкционных частей. Быструю замену позволяет провести сборно-разборная конструкция установки, простота состыковки элементов осуществляется с помощью системы уплотнений и фланцев.

Сварную конструкцию чаще всего используют при размещении ее в индукторе.

Долгую работу кварцевых трубок обеспечивают следующие факторы:

- Отсутствие газовых пузырей в воде, негативно влияющих на материалы конструкции;
- Малая толщина камеры до 2 мм;
- Использование высококачественного кварца и особый режим его предварительной термической обработки;
- Использование светоотражающих покрытий [28].

1.3.1.2 ВЧИ-плазмотроны с газовой термозащитой стенок камеры

Водоохлаждаемые камеры имеют большую вероятность растрескивания кварца, поэтому основной конструкцией ВЧИ плазмотронов является плазмотроны с газовой вихревой или аксиальной (пристеночной) стабилизацией плазмы.

Вихревая стабилизация наиболее проста в инженерном исполнении, такое движение газа помогает разделить холодный газ у стенки камеры от горячей плазмы, находящейся в центре [29]. Однако существует большой недостаток – подсос газа, так называемый обратный поток, через завихрения внутрь плазмотрона, рисунок 6.

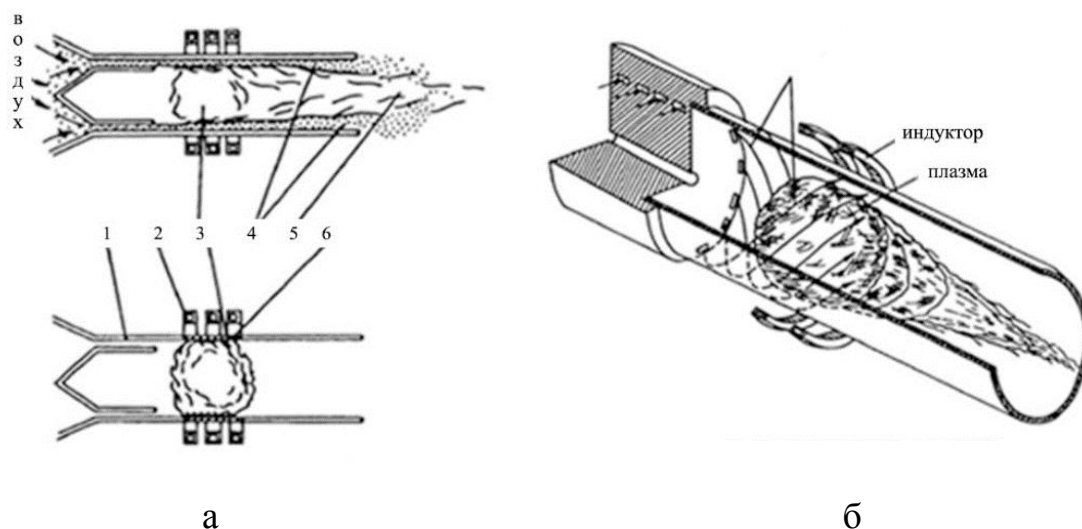


Рисунок 6 – Схема газовой стабилизации аксиальным пристеночным (а) и вихревым (б) потоками. 1 – камера, 2 – индуктор, 3 – плазма, 4 – охлаждающий газ; 5 – плазменная струя; 6 – наиболее термонапряженный участок разрядной камеры.

Однако для целого ряда задач, вихревая стабилизация неприемлема. Аксиальная стабилизация осуществляется с помощью газораспределительного устройства по которому создается струя, препятствующая попаданию диффузионных потоков к кварцевым стенкам. Для формирования струи выше зоны разряда помещают еще одну трубку, зазор между внешней и внутренней стенкой позволяет сформировать два потока: термозащитный и плазмообразующий.

В современных плазмотронах чаще всего есть возможность осуществить и газовую и аксиальную стабилизацию плазмы [30].

1.3.1.3 Разрядные пористые ВЧИ камеры

Еще одним видом разрядной камеры является камера с пористой структурой, через которые газ проникает как для охлаждения, так и для вытеснения плазмы от стенок.

Основной особенностью этих конструкций является движение газа: он поступает вдоль всей длины камеры с усредненным расходом, который определяется степенью пористости, давлением газа, материалом стенок и т.п.

В пористой камере отсутствуют потери на излучение, в следствие чего камера не прозрачная (в отличие от кварцевых конструкций) и КПД значительно выше чем у аналогов.

Пористые материалы должны удовлетворять следующим характеристикам:

- рабочая температура материала от 1500 °С и выше;
- из-за высокого напряжения на индукторе при поджиге 8-10 кВ, материалы должны обладать высокой электрической прочностью;
- высокая механическая прочность и высокое удельное сопротивление;
- достаточная газовая проницаемость материала;
- малая летучесть материала;
- высокая стойкость к окислению при повышенных температурах.

В качестве материала, удовлетворяющего всем описанным требованиям, можно использовать высокотемпературную керамику на основе нитрида кремния [30].

1.3.1.4 Конструкции ВЧИ-плазмотронов с металлическими разрезными водоохлаждаемыми камерами

Описанные выше разрядные камеры обладают определенным рядом минусов, выражающиеся в ненадежной защите стенок корпуса при

специфических технологических требованиях. В 60-х годах был представлен новый тип камеры с металлическими разрезными водоохлаждаемыми стенками и мощностью несколько сотен киловатт, который обеспечивает существование индукционного высокочастотного разряда при высоком (5-10 атм) и пониженном давлении [31].

Принцип действия камеры основан на том, что если поместить в индуктор полый металлический цилиндр, с толщиной стенки больше чем глубина проникновения поля в металл, то он будет поглощать энергию, а поле внутри него будет нулевым. При наличии в цилиндре хоть одного продольного разреза энергия будет проникать внутрь, что позволит зажечь там индукционный разряд.

На рисунке 7 можно увидеть, что самым простым решением будет расположение водоохлаждаемой медной трубы в виде продольного змеевика. В данных плазмотронах кроме водяного охлаждения можно дополнительно сделать аксиальную стабилизацию плазмы [28].

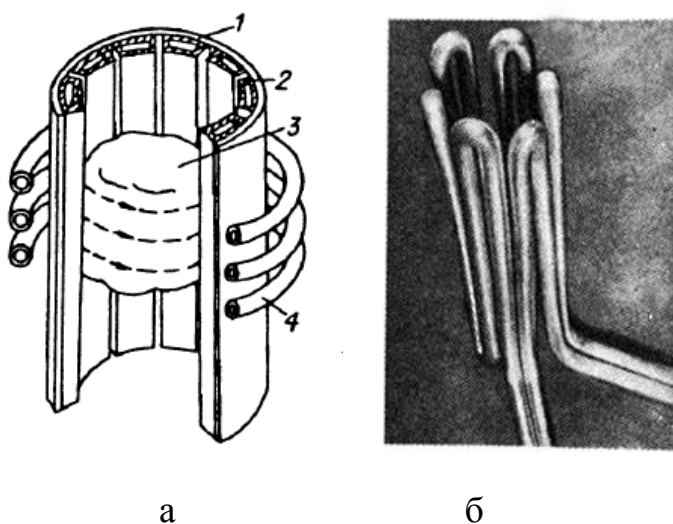


Рисунок 7 – ВЧИ-плазмотрон с металлической разрезной водоохлаждаемой камерой (а); фотография металлической камеры, выполненной из медной трубы в виде продольного змеевика (б).

1 – кварцевая труба; 2 – медные трубы; 3 – плазма; 4 – индуктор.

1.3.2 Высокочастотные емкостные плазмотроны (ВЧЕ)

Работа ВЧЕ плазмотрона основана на связи проводящей среды с источником питания, при этом передача происходит с помощью емкостного тока. Отсутствие электродов внутри камеры, как и у ВЧИ-плазмотронов позволяет получать чистую плазму.

На рисунке 8 представлены два типа подвода энергии в ВЧЕ- и ВЧИ-плазмотронах.

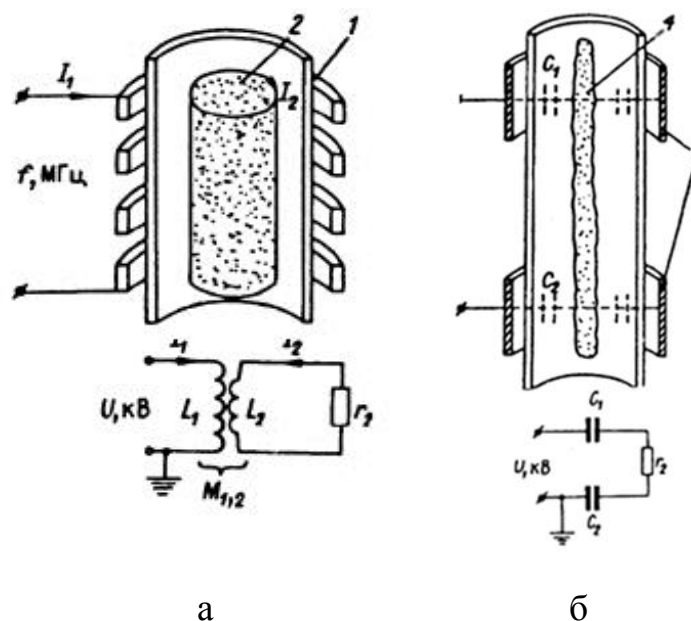


Рисунок 8 – Эквивалентные электрические схемы связи источника питания с плазмой в ВЧИ- (а) и ВЧЕ-плазмотроне (б). 1,3 – электроды; 2,4 - плазма

В ВЧИ плазмотроне связь между разрядом и индуктором носит магнитный, трансформаторный характер. В ВЧЕ-плазмотроне эта связь осуществляется через электрическую емкость, образованную коаксиальной системой. На практике применяют несколько видов конструкций ВЧЕ-плазмотронов: линейная схема, линейно-тороидальная, с плоской и с коаксиальной геометрией электродов [32].

1.3.2.1 ВЧЕ-плазмотроны линейной схемы

Плазмотроны линейной схемы имеют кольцевой электрод в виде цилиндра, который не имеет контакта с плазмой. Линейными их называют по виду канала разряда: вытянутого в линию и имеющего соосные электроды, при этом электродов может быть 2, 3 или 5, рисунок 9.

Электроды подключены так, что потенциальный располагается между заземленными, это позволяет экранировать поле и обеспечивает снятие потенциала с плазмы.

Ток протекает вдоль всей оси разрядной камеры, а мощность и величина плазменной струи определяется величиной емкостной связи между электродами и плазмой, т.е. от диаметра и высоты электрода.

Ресурс работы увеличивают с помощью электродов специальной формы, которые дают равномерную тепловую нагрузку. А уровень мощности повышают заполнением промежутка плазма – электрод диэлектриком (сегнетоэлектрическая вставка), который повышает емкостную связь. [33]

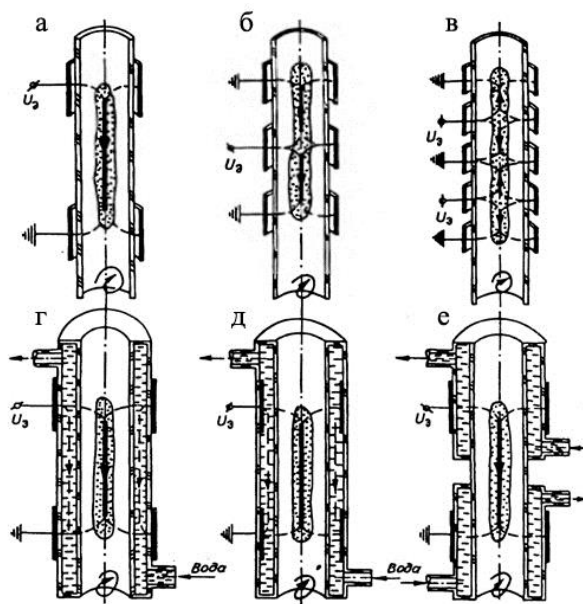


Рисунок 9 – типы ВЧЕ-плазмотронов линейной схемы: а – 2 электрода, б – 3 электрода, в – 5 электродов, г – водоохлаждаемая камера, электроды снаружи, д – водоохлаждаемая камера, электроды внутри, е – раздельное водоохлаждение, для исключения шунтирующего тока между электродами.

1.3.2.2 Линейно-тороидальные ВЧЕ-плазмотроны

ВЧЕ-плазмотроны линейной конструкции могут быть выполнены как линейно-тороидальная схема, в виде тора с 2 или 4 электродами, рисунок 10.

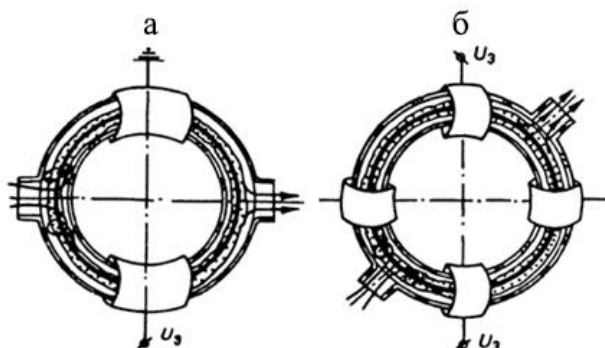


Рисунок 10 – линейно-тороидальная схема, а – два электрода,
б – четыре электрода.

Свойства и характеристики ВЧЕ-плазмотронов линейно-тороидальной схемы схожи с линейной схемой.

1.3.2.3 ВЧЕ-плазмотрон с плоской геометрией электродов

Самым простым видом ВЧЕ-плазмотрона является плазмотрон с плоской геометрией электродов, основным их назначением является: нанесение покрытий на материалы, травление и их очистка, а также накачка лазеров.

В плазмотроне с плоской геометрией электродов, рисунок 11, промежуток разрядной камеры d , образован электродами 1, которые изолированы от разряда диэлектриком 2

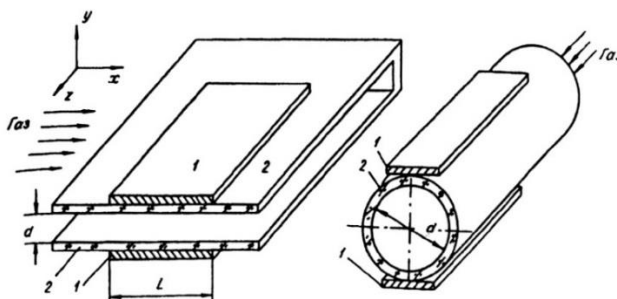


Рисунок 11 – ВЧЕ-плазмотрон плоской геометрии.

1 – электрод, 2 – диэлектрик.

Для изготовления плоских электродов используют медь, латунь или нержавеющая сталь, чаще всего при работе они принудительно охлаждаются с помощью обдува или специальных трубок, по которым подается вода.

Основным недостатком данной конструкции является неоднородность разряда в области больших расходов газа, поэтому их применение здесь невозможно [34].

1.3.2.4 ВЧЕ-плазмотроны с коаксиальной геометрией электродов

Плазмотроны с коаксиальной геометрией электродов представляют собой две диэлектрические трубы, одна из которых внешняя, другая-внутренняя.

Цилиндрический электрод располагается вокруг внешней трубы непосредственно на ней или на некотором расстоянии. Коаксиально внешнему электроду, во внутренней трубе расположен еще один электрод, между которыми образуется разрядный промежуток (разрядная камера). Камеры чаще всего изготавливают из кварца, который обладает высокой теплостойкостью и способен выдержать большой градиент температур. Материал электродов – медь в виде спирали с различными отверстиями для наблюдения за разрядом [34].

1.3.3 Высокочастотные факельные плазмотроны

Первые эксперименты по изготовлению вида разрядных камер, имеющих с одного края контакт с электродом были приняты в 1960-1961 гг. В работах в первый раз использовали стабилизацию разряда аксиальным потоком и заземление (с помощью коаксиального электрода) для увеличения емкостной связи факела с землей. Таким образом плазмотрон факельного типа считают прообразом емкостного. На рисунке 12 представлена схема факельно-емкостного плазмотрона [35].

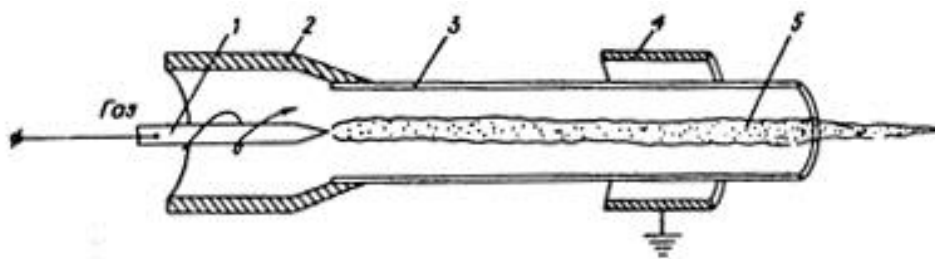


Рисунок 12 – Схема факельно-емкостного плазмотрона.

1 – высоковольтный электрод; 2 – газоформирователь; 3 – кварцевая труба; 4 – коаксиальный заземлённый электрод, 5 – разряд.

Высокочастотный факельный плазмотрон, рисунок 13, состоит из металлического корпуса 1 с охлаждаемым водой соплом 2 и охлаждаемого водой электрода 3, электрически изолированного от корпуса изолятором 10 из радиотехнического фарфора. Плазмообразующий газ и газообразные реагенты напускаются через штуцер 9 и газовый распределитель 8, откачка через штуцер 5. Поток высокочастотной плазмы возбуждается с электрода 3 и формируется в сопле 2. В рабочем режиме мощность, вкладываемая в разряд, и скорость прокачки плазмообразующего газа подбираются таким образом, чтобы в области измерений находился стабильный цилиндрический столб плазмы, отделенный от корпуса плазмотрона потоками холодного газа. Для проведения гетерогенных плазмохимических реакций верхняя крышка плазмотрона может быть заменена на устройство подачи мелкодисперсного порошка. Вакуумноплотные диэлектрические окна-линзы 4 предназначены для измерений параметров плазмы микроволновыми методами. На таком же расстоянии от электрода, как и линзы, находятся два штуцера 6 с окнами из LiF, которые используются для проведения спектральных исследований, а в случае получения плазмы с высокой плотностью электронов могут быть применены для лазерной диагностики. Штуцер 7 предназначен для ввода в разрядную зону сменных электрических зондов Ленгмюра [36].

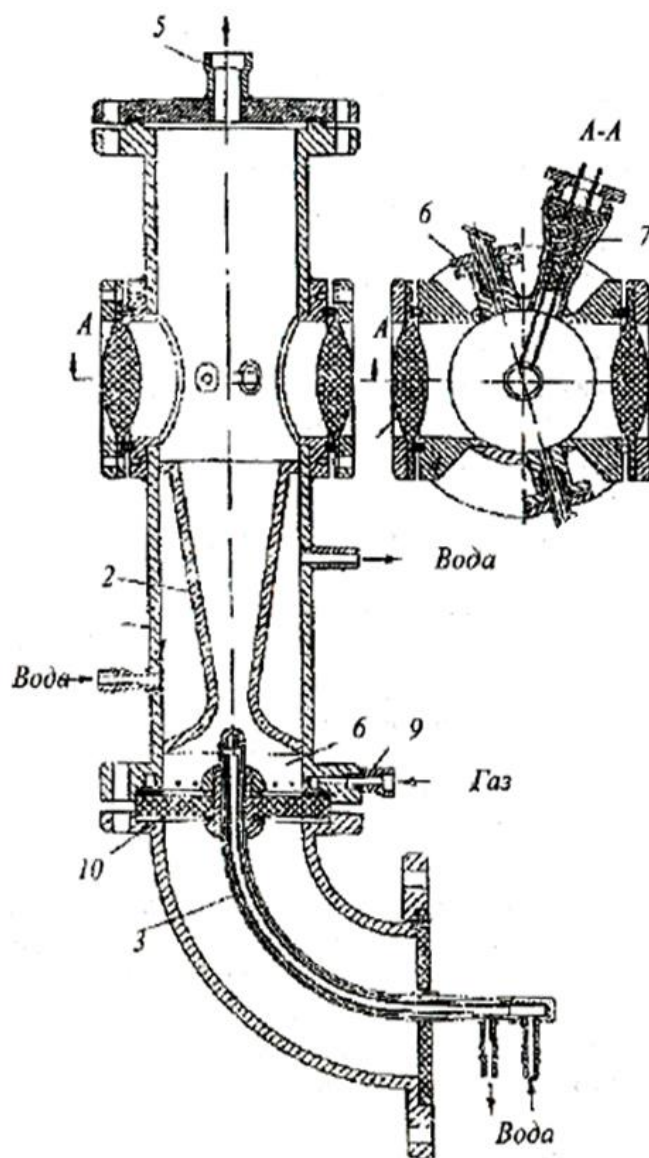


Рисунок 13 – Высокочастотный факельный: 1 – металлический корпус; 2 – сопло; 3 – электрод; 4 – окна-линзы; 5, 6, 7, 9 – штуцер; 8 – газовый распределитель.

На рисунке 14 приведена схема ВЧФ-плазмотрона, предназначенного для генерирования воздушно-плазменных потоков со среднемассовой температурой до 4000 К [31,37].

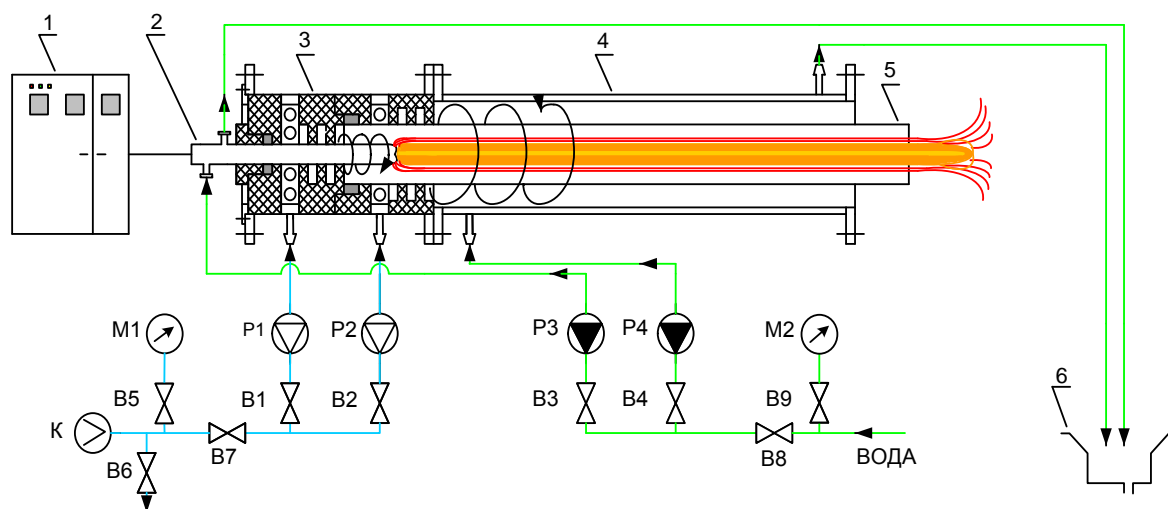


Рисунок 14 – Схема ВЧФ-плазмотрона: 1 - высокочастотный генератор; 2 - электрод; 3 - узел ввода плазмообразующего и охлаждающего газа; 4 - корпус плазмотрона; 5 - разрядная камера плазмотрона; 6 - слив охлаждающей воды; К - компрессор; M1, M2 - манометры; P1-P4 - ротаметры; B1-B9 - вентили

1.4 Перспективы применения высокочастотных факельных плазмотронов для плазменной обработки технических лигнинов в виде диспергированных горючих композиций

ВЧФ-плазмотроны данного типа имеют высокий КПД (не менее 95%), работают при атмосферном давлении с использованием воздуха в качестве плазмообразующего газа и позволяют генерировать высокоэнтальпийные воздушно-плазменные потоки со среднемассовой температурой до 4000 К. Ресурс работы таких плазмотронов достигает нескольких тысяч часов и ограничивается только ресурсом электровакуумных изделий ВЧ генератора. Эти достоинства позволяют использовать ВЧФ-плазмотроны для плазменной переработки различных веществ, в том числе токсичных и радиоактивных.

Отличительной особенностью устройства является использование ВЧФ-плазмотрона в качестве генератора плазмы, обеспечивающего не только генерирование высокотемпературных плазменных (воздушно-плазменных) потоков, но и получение высокоэнтальпийных плазменных потоков со скоростями порядка десятков метров в секунду при высоком тепловом КПД

(80-90) %, что позволяет эффективно использовать ВЧФ-плазмотроны в процессах плавления, испарения и конденсации порошков и при осуществлении процессов переработки диспергированных (водно-солевых) растворов различных металлов.

В отличие от ВЧИ-плазмотронов ВЧФ-плазмотрон отличается высокой механической прочностью, отсутствием специального устройства для возбуждения разряда и надежностью в эксплуатации. На рисунке 15 изображена схема плазменного стенда.

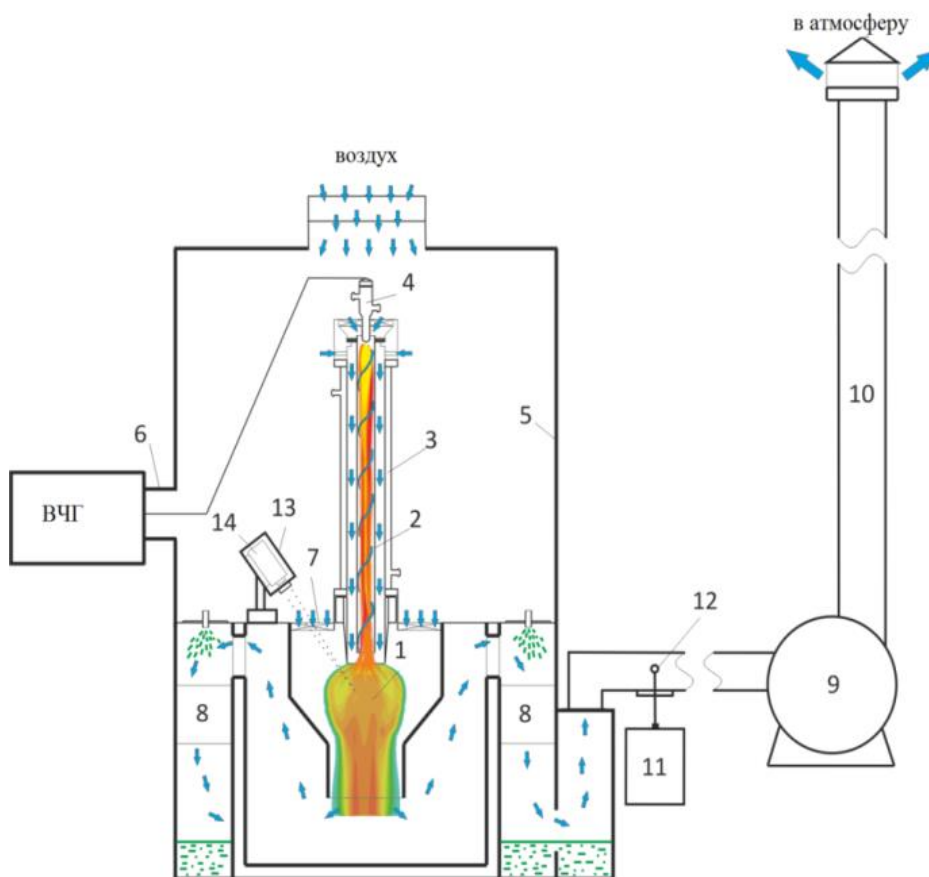


Рисунок 15 – Схема плазменного стенда «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01». 1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – медный электрод, 5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод; 7 – импеллер реактора; 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4), 10 – воздуховод, 11 – газоанализатор «Quintox» КМ 9106, 12 – прободоотборник; 13 – защитный кожух пирометра, 14 – пирометр IPE 140/45, ВЧГ – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01

ВЧ энергия подается в плазмотрон по токоподводу 1. ВЧФ-разряд генерируется с водоохлаждаемого трубчатого электрода 2, электрически изолированного от заземленного корпуса 5 прокладкой 3 из радиотехнического фарфора. Плазмообразующий газ подается в зону разряда 7 тангенциально через штуцер 4. Кварцевая вставка 6, помещенная в водоохлаждаемый металлический корпус 5, предохраняет от контакта с теплоносителем металлический корпус плазмотрона. Выходное сопло 8 плазмотрона выполнено с уступом 9 и охлаждается водой. Выравнивание температурного поля происходит в зоне 10. Камера смешения 11 теплоносителя включает в себя форсунки для диспергирования растворов или диспергаторы твердой фазы. Из реакционной зоны 12 продукты реакции подаются в закалочное устройство и далее в аппараты разделения и улавливания.

2 Расчет и оптимизация процесса плазменной утилизации сульфатного и гидролизного лигнина

2.1 Расчет показателей горения в виде водно-органических композиций

Жидкими горючими отходами считают [38] отходы с низшей теплотой сгорания более 8,4 МДж/кг. Теплоту сгорания отходов считают, как теплоту сгорания влажного топлива Q_H^p (в МДж/кг) по формуле:

$$Q_H^p = \frac{(100-W-A) \cdot Q_H^c}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100}, \quad (1)$$

где Q_H^c – низшая теплота сгорания сухих горючих компонентов отхода, МДж/кг;
 W и A – содержание соответственно воды и негорючих минеральных веществ в отходе, %;

2,5 – скрытая теплота испарения воды при 0°C, МДж/кг.

Жидкие производственные отходы становятся горючими при различных значениях теплоты сгорания в зависимости от теплоты сгорания горючих компонентов и принадлежности их к тем или иным классам соединений.

Рекомендация относить к горючим жидкие отходы при $Q_H^p \geq 8,4$ МДж/кг является завышенной для многих производственных отходов, содержащих горючие компоненты с низкими значениями Q_H^c .

Более объективным показателем горючести жидких производственных отходов является их адиабатическая температура горения:

$$t_{ад} = \frac{Q_H^p + c_{отх} \cdot t_{отх} + \alpha \cdot v_{ок}^0 \cdot c_{ок} \cdot t_{ок}}{v \cdot c + \frac{W \cdot c_{H_2O}}{100} + \frac{A \cdot c_A}{100}}, \quad (2)$$

где $c_{отх}$ – средняя массовая теплоемкость жидкого отхода, КДж/(кг·град);

$t_{отх}$ – температура жидкого отхода, °C;

α – коэффициент расхода окислителя;

$v_{ок}^0$ – теоретический расход окислителя, м³/м³;

$c_{ок}$ – средняя теплоемкость окислителя, (кДж/м³/град);

$t_{ок}$ – температура окислителя, °C.

Формула 2 используется для расчетов промышленных отходов с уже известным составом. Для расчета показателя горючести сульфатного и гидролизного лигнина формула примет вид:

$$t_{ад} = \frac{Q_H^p + C_{отх} \cdot t_{отх} + \alpha \cdot \theta_{ок}^0 \cdot C_{ок} \cdot t_{ок}}{\theta \cdot c}, \quad (3)$$

Опыты по горению жидких отходов органических веществ показали, что минимальные потери энергии в окружающую среду и наиболее полное протекание процесса окисления происходит при температуре $t_{ад} \geq 1200$ °С, при этом данная температура является достаточной для самостоятельного протекания процесса.

2.2 Термодинамический расчет плазменной утилизации сульфатного лигнина в воздушной плазме

Для определения оптимальных режимов исследуемого процесса проведены расчёты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной утилизации сульфатного лигнина (СЛ) в воздушной плазме. Для расчётов использовалась лицензионная программа «TERRA».

СЛ промышленной выработки содержит: лигнин Клаксона, который имеет достаточно постоянный функциональный состав, 85 %, золы – 1,0-2,5 %, кислоты в расчете на серную – 0,1-0,3 %, смолистых веществ – 0,3-0,4 %. В сульфатном лигнине присутствует сера, массовое содержание которой составляет 2,0-2,5%, в том числе несвязанной – 0,4-0,9 %.

В гидролизной форме лигнина содержание протолигнина находится в пределах 40-88 %, трудногидролизуемых полисахаридов от 13 до 45 %, лигногуминового комплекса и смолистых веществ от 5 до 19 % золы – от 0.5 до 10 %.

Состав золы лигнина: Al_2O_3 – 1%; SiO_2 – 93,4%; P_2O_5 – 1,5 %; CaO – 1,5%; Na_2O – 0,3%; K_2O – 0,3%; MgO – 0,3%; TiO_2 – 0,1% [39].

Расчёты проведены при давлении 0,1 МПа, в широком интервале рабочих температур ($300 \div 4000$ К) и для различных массовых долей воздушного плазменного теплоносителя ($0,1 \div 0,95$ %).

Равновесные составы основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной утилизации сухого сульфатного лигнина с массовым содержанием золы 0,3 % в воздушной плазме представлены на рисунках 16 и 17 соответственно.

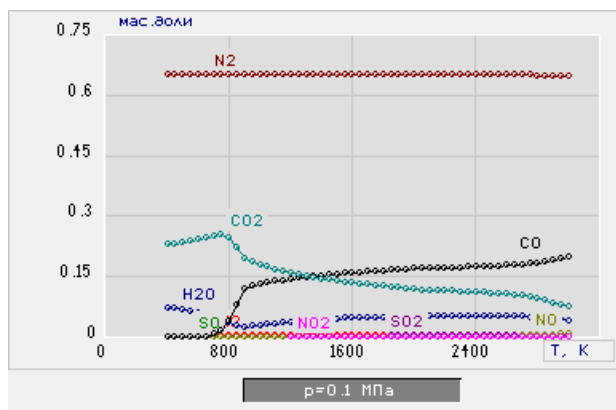


Рисунок 16 – Равновесный состав газообразных продуктов плазменной утилизации СЛ в воздушной плазме: (85 % воздух: 15 % СЛ)

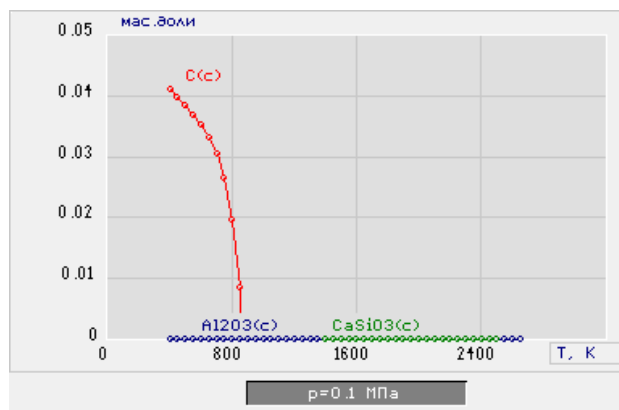


Рисунок 17 – Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной утилизации СЛ в воздушной плазме: (85 % воздух: 15 % СЛ)

Из анализа равновесных составов, рисунки 16 и 17, видно, что при рабочих температурах до 1500 К основными газообразными продуктами плазменной утилизации только СЛ в воздушной плазме являются N_2 , CO , CO_2 и H_2O , а основным конденсированным продуктом является Al_2O_3 , $CaSiO_3(c)$.

Наличие сажи $C(c)$ указывает на то, что процесс утилизации СЛ в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 85 % идёт не в оптимальном режиме.

Увеличение массовой доли воздуха с 85 % до 90 %, рисунки 18 и 19, приводит к исчезновению сажи $C(c)$ в продуктах плазменной утилизации сухого СЛ в воздушной плазме.

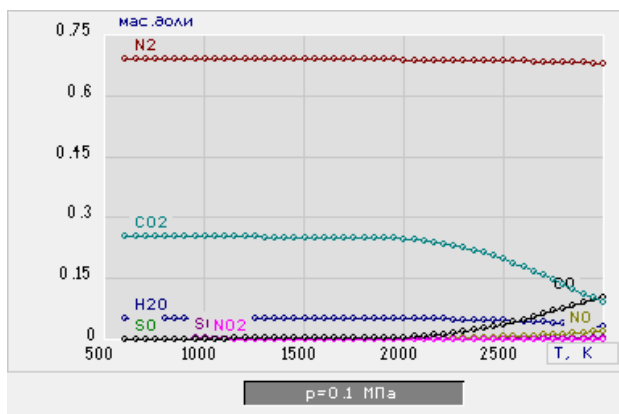


Рисунок 18 – Равновесный состав газообразных продуктов плазменной обработки СЛ в воздушной плазме (90 % воздух: 10 % СЛ)

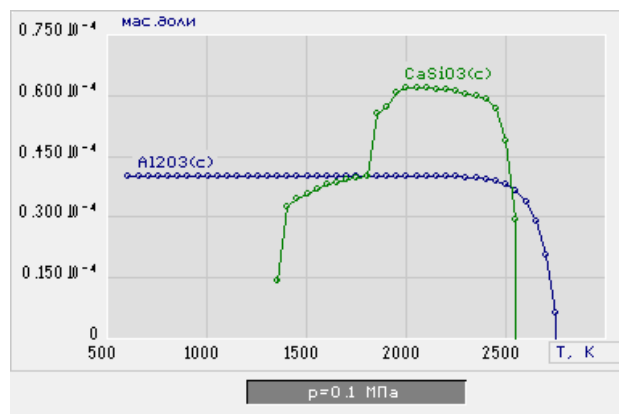


Рисунок 19 – Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной обработки СЛ в воздушной плазме (90 % воздух: 10 % СЛ)

Таким образом, экологически безопасная плазменная утилизация сухого СЛ в воздушной плазме возможна только при невысокой массовой доле сульфатного лигнина не более 10 %.

По вышеприведенной методике, были проведены расчеты, в которых были определены: теплота сгорания влажного топлива Q_H^p (в МДж/кг) на основе СЛ и адиабатическая температура горения $t_{ад}$ при сгорании СЛ в виде водно-органической композиции.

Расчеты проводились следующим образом:

Для СЛ с содержанием золы 1,8 % имеем соотношение: 10 % вода: 90 % сульфатного-лигнин.

Затем по формуле 1 находим теплоту сгорания влажного топлива Q_H^p (в МДж/кг):

$$Q_H^p = \frac{(100-10-1,8) \cdot 23,1}{100} - \frac{2,5 \cdot 10}{100} = 20,124 \text{ МДж/кг} \quad (4)$$

Далее все расчеты проводятся аналогично. Полученные результаты занесены в приложении А.

С учетом полученных результатов можно рекомендовать водно-органическую композицию ВОК-1 на основе СЛ с низшей теплотой сгорания

$Q_H^p \geq 8,4$ МДж/кг, имеющую следующий оптимальный состав: 56 % воды и 44 % СЛ (в т.ч. 0,88 % зола).

С учетом полученных результатов, рассмотрим плазменную утилизацию СЛ в виде оптимальной по составу ВОК-1 (56 % вода: 44 % СЛ).

Равновесные составы основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной утилизации ВОК-1 при массовой доле воздуха 69 % представлены на рисунке 20 и 21 соответственно.

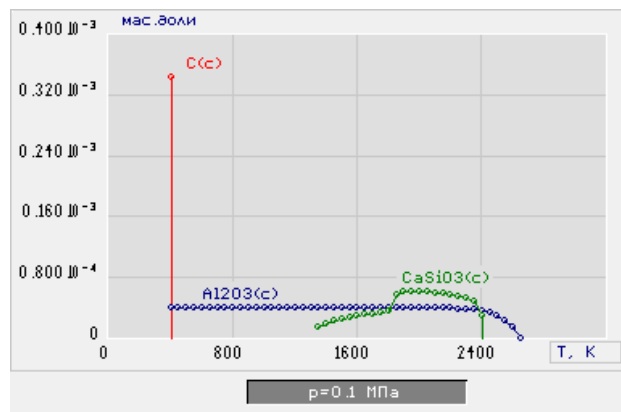
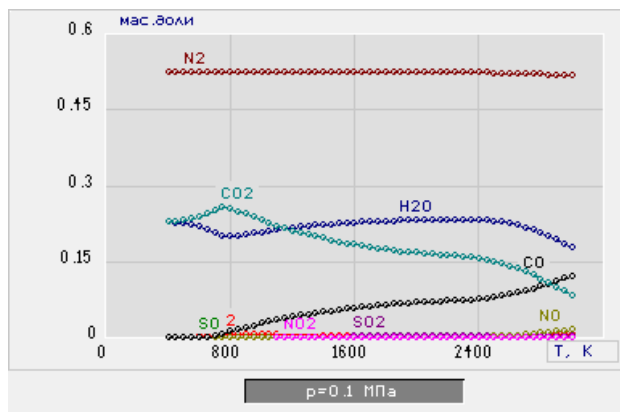


Рисунок 20 — Равновесный состав газообразных продуктов плазменной утилизации СЛ в виде ВОК-1: (69 % воздух: 31 % ВОК-1) Рисунок 21 — Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной утилизации СЛ в виде ВОК-1: (69 % воздух: 31 % ВОК-1)

Проведение процесса плазменной утилизации СЛ в виде ВОК-1 в воздушной плазме (рис. 20 и 21) приводит к тому, что при рабочих температурах до 1500 К основными газообразными продуктами являются N_2 , H_2O , CO и CO_2 , а основными конденсированными продуктами — $C(c)$, $Al_2O_3(c)$ и $CaSiO_3(c)$.

Наличие сажи $C(c)$ указывает на то, что процесс утилизации СЛ в виде ВОК-1 в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 69 % идёт не в оптимальном режиме.

Увеличение массовой доли воздуха с 69 % до 70 % (рис. 22 и 23) приводит к исчезновению сажи $C(c)$ в продуктах плазменной утилизации СЛ в виде ВОК-1 в воздушной плазме.

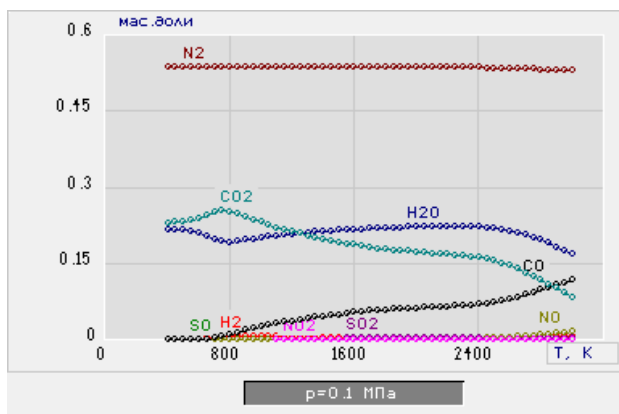


Рисунок 22 – Равновесный состав газообразных продуктов плазменной утилизации СЛ в виде ВОК-1: (70 % воздух: 30 % ВОК-1)

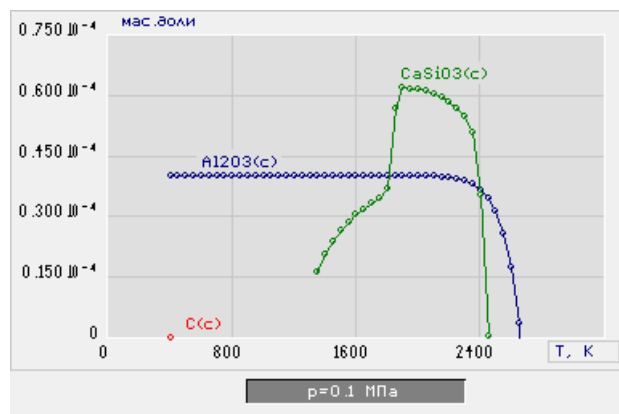


Рисунок 23 – Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной утилизации СЛ в виде ВОК-1: (70 % воздух: 30 % ВОК-1)

Отсутствие сажи $C(c)$ и NO показывает, что процесс плазменной утилизации ВОК-1 в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 70 % идёт в оптимальном режиме.

При этом массовая доля СЛ в виде ВОК-1 составила 30 % по сравнению с 10 % при плазменной утилизации сухого сульфатного лигнина.

Проведем расчет адиабатической температуры горения этого состава, с учетом параметров, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели для расчета адиабатической температуры горения

$c_{отх}$	$t_{отх}$	α	$\vartheta_{ок}$	$c_{ок}$	$t_{ок}$
0,006	25	1,05	7	0,001	25

$$t_{ад} = \frac{8,561 + 0,006 \cdot 25 + 1,05 \cdot 7 \cdot 0,001 \cdot 25}{0,0017 \cdot 4,871} = 1076,14, \quad (5)$$

Из расчетов видно, что адиабатическая температура горения ВОК-1 (70 % воздух: 30 % ВОК-1) не достаточна для полного сгорания отходов с минимальными потерями тепла в окружающую среду. Для увеличения температуры будем добавлять долю воздушного теплоносителя. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Адиабатическая температура горения СЛ

Доля лигнина, %	Зола, %	H ₂ O, %	Воздух, %	C _p	V	Тад
0,29	0,203	18,85	71	0,001683	4,8235	1095,33
0,28	0,196	18,2	72	0,001662	4,7757	1120,34
0,27	0,189	17,55	73	0,001629	4,7282	1154,24
0,26	0,182	16,9	74	0,001559	4,6801	1218,68

Из результатов расчетов видно, что полное сгорание СЛ в виде ВОК-1 с минимальными потерями в окружающую среду достигается при массовой доле воздушного теплоносителя 74 %.

Оценка энергозатрат на процесс плазменной утилизации СЛ проводилась с помощью лицензионной программы «TERRA». С помощью этой программы были рассчитаны полные энтальпии J_T продуктов плазменной утилизации ВОК-1 (J_T , кДж/кг).

Далее определялись общие энергозатраты на процесс плазменной утилизации СЛ по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = J_T - J_{300} [\text{кДж/кг}] \quad (6)$$

Затем рассчитывались удельные энергозатраты на утилизацию 1 килограмма СЛ:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \frac{J_{\text{общ}}}{Z} [\text{кДж/кг}] \quad (7)$$

В таблице 3 и 4 приведены результаты расчетов удельных энергозатрат на процесс утилизации сухого СЛ и в виде ВОК-1 соответственно. На рисунке 24 представлено сравнение удельных энергозатрат.

Таблица 3 – Энергозатраты на процесс плазменной утилизации сухого СЛ (90 % воздух: 10 % СЛ)

T, K	I_T , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	$\mathcal{E}_{уд}$, кДж/кг	$\mathcal{E}_{уд}$, МДж/кг
1000	-2200,0	480,00	4800,00	4,80
1500	-1550,0	1130,00	11300,00	11,30
2000	-829,3	1850,70	18507,00	18,51
2500	314,9	2994,85	29948,50	29,95
3000	2273,7	4953,70	49537,00	49,54

Таблица 4 – Энергозатраты на процесс плазменной утилизации ВОК-1 (74 % воздух: 26 % ВОК-1)

T, K	I_T , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	$\mathcal{E}_{уд}$, кДж/кг	$\mathcal{E}_{уд}$, МДж/кг
1000	-3800,0	850,00	3269,23	3,27
1500	-3020,0	1630,00	6269,23	6,27
2000	-2210,0	2440,00	9384,62	9,38
2500	-960,9	3689,10	14188,85	14,19
3000	1731,7	6381,70	24545,00	24,55

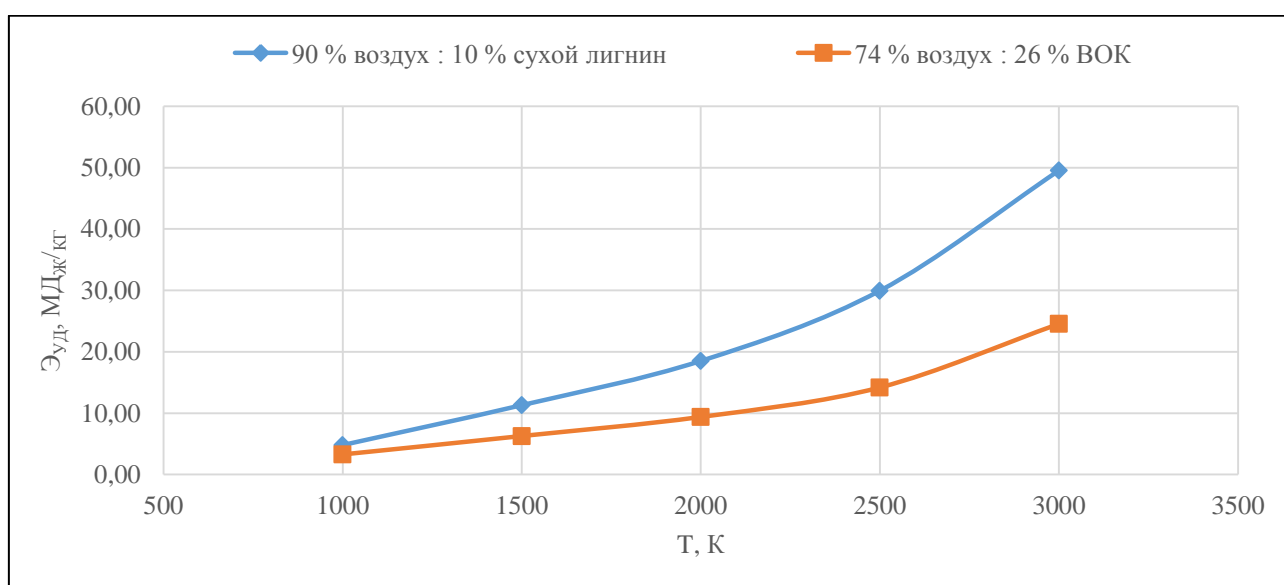


Рисунок 24 – Удельные энергозатраты на процесс плазменной утилизации 1 кг СЛ

Из анализа полученных результатов следует, что удельные энергозатраты зависят от содержания сульфатного лигнина в ВОК-1.

С учетом полученных результатов рекомендованы следующие оптимальные режимы, для практической реализации процесса плазменной утилизации СЛ:

- плазменный теплоноситель - воздух;
- состав водно-органической композиции ВОК-1: (56 % вода:44 % СЛ);
- массовое отношение фаз: 74 % воздух:26 % ВОК-1;
- интервал рабочих температур (1500 ± 100) К.

2.3 Термодинамический расчет плазменной утилизации гидролизного лигнина в воздушной плазме

Для определения оптимальных режимов исследуемого процесса проведены расчёты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной утилизации гидролизного лигнина (ГЛ) в воздушной плазме.

Расчёты проведены при давлении 0,1 МПа, широком интервале рабочих температур $(300 \div 4000)$ К и для различных массовых долей воздушного плазменного теплоносителя $(0,1 \div 0,95)$.

Равновесные составы основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной утилизации сухого ГЛ с массовым содержанием золы 0,06 % в воздушной плазме представлены на рисунках 25 и 26 соответственно.

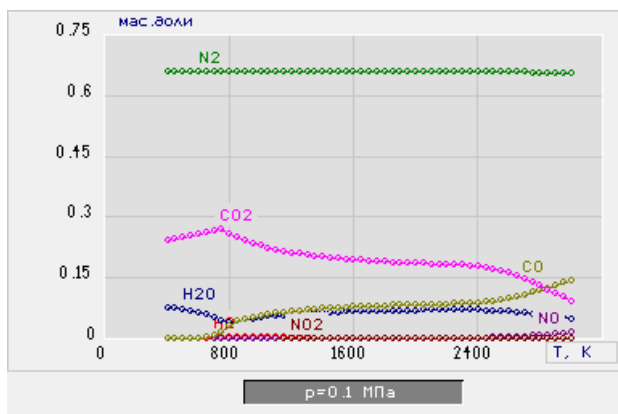


Рисунок 25 – Равновесный состав газообразных продуктов плазменной утилизации ГЛ в воздушной плазме (85 % воздух: 15 % ГЛ)

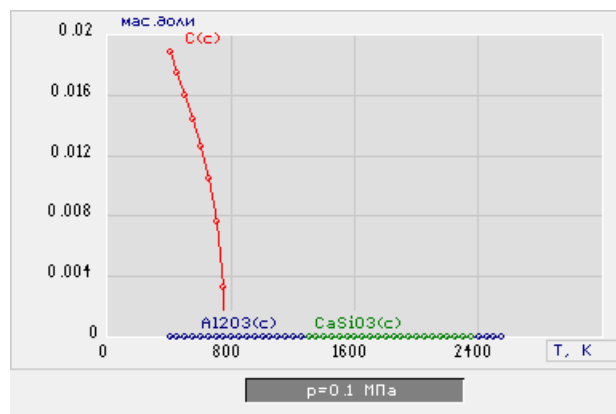


Рисунок 26 – Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной утилизации ГЛ в воздушной плазме (85 % воздух: 15 % ГЛ)

Из анализа равновесных составов, рисунки 25 и 26, видно, что при рабочих температурах до 1500 К основными газообразными продуктами плазменной утилизации только ГЛ в воздушной плазме являются N_2 , CO , CO_2 и H_2O , а основным конденсированным продуктом является $Al_2O_3(c)$, $CaSiO_3(c)$.

Наличие сажи $C(s)$ указывает на то, что процесс утилизации сухого ГЛ в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 85 % идёт не в оптимальном режиме.

Увеличение массовой доли воздуха с 85 % до 90 %, рисунки 27 и 28, приводит к исчезновению сажи $C(s)$ в продуктах плазменной утилизации сухого ГЛ в воздушной плазме.

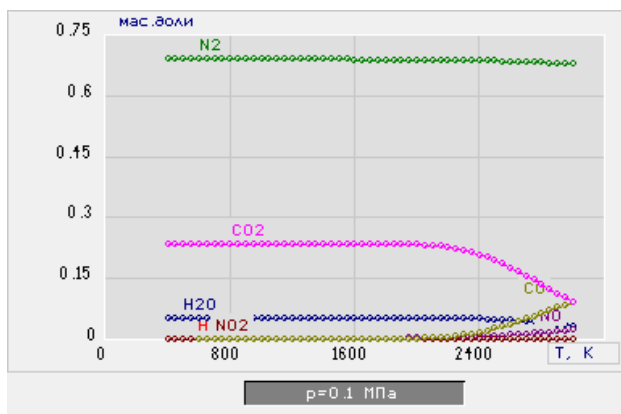


Рисунок 27 – Равновесный состав газообразных продуктов плазменной утилизации ГЛ в воздушной плазме (90 % воздух:10 % ГЛ)

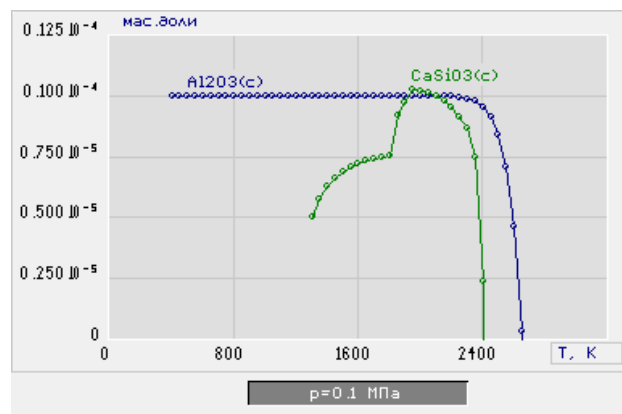


Рисунок 28– Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной утилизации ГЛ в воздушной плазме (90 % воздух:10 % ГЛ)

Таким образом, экологически безопасная плазменная утилизация сухого ГЛ в воздушной плазме возможна только при невысокой массовой доле гидролизного лигнина не более 10 %.

По вышеприведенной методике, были проведены расчеты, в которых были определены: теплота сгорания влажного топлива Q_H^p (в МДж/кг) на основе ГЛ и адиабатическая температура горения $t_{ад}$ при сгорании в виде водно-органической композиции.

Расчеты проводились следующим образом:

Для ГЛ с содержанием золы 0,36 % имеем соотношение: 10 % вода: 90 % гидролизного лигнина.

Затем по формуле (2.3) находим теплоту сгорания влажного топлива Q_H^p (в МДж/кг):

$$Q_H^p = \frac{(100-10-1,8) \cdot 29,16}{100} - \frac{2,5 \cdot 10}{100} = 29,043 \quad (8)$$

Далее все расчеты проводятся аналогично, используя формулу выше.

Полученные результаты занесены в приложении Б.

С учетом полученных результатов можно рекомендовать водно-органическую композицию ВОК-2 на основе ГЛ с низшей теплотой сгорания

$Q_H^p \geq 8,4$ МДж/кг, имеющую следующий оптимальный состав: 65 % вода : 35 % ГЛ содержание золы 0,14 %.

С учетом полученных результатов, рассмотрим плазменную утилизацию гидролизного лигнина в виде оптимальной по составу водно-органической композиции ВОК-2 (65 % вода: 35 % ГЛ) в воздушном плазменном теплоносителе.

Равновесные составы основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной утилизации ВОК-2 в воздушной плазме представлены на рисунке соответственно 29 и 30.

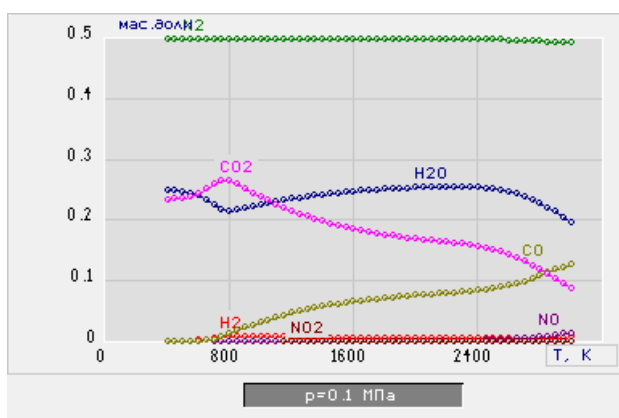


Рисунок 29 – Равновесный состав газообразных продуктов горения оптимальной ВОК-2 (65 % воздух: 35 % ВОК-2)

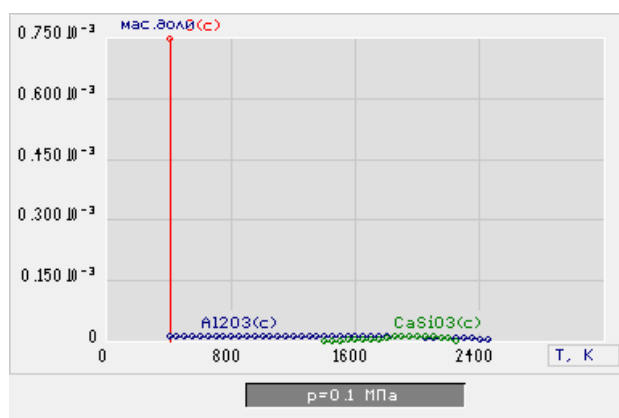


Рисунок 30 – Равновесный состав конденсированных продуктов горения оптимальной ВОК-2 (65 % воздух: 35 % ВОК-2)

Проведение процесса плазменной утилизации сульфатного лигнина в виде оптимальной ВОК-2 в воздушной плазме, рисунки 29 и 30, приводит к тому, что при рабочих температурах до 1500 К основными газообразными продуктами являются N₂, H₂O, CO и CO₂, а основными конденсированными продуктами — C(c), Al₂O₃(c), CaSiO₃(c).

Наличие сажи C(c) при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 65 % показывает, что процесс идёт не в оптимальном режиме.

Увеличение массовой доли воздуха с 65 % до 66 %, рисунки 31 и 32, приводит к исчезновению сажи C(c) в продуктах плазменной утилизации ВОК-2 в воздушной плазме.

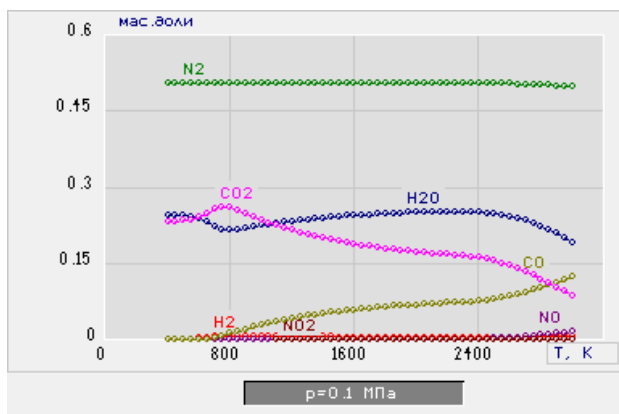


Рисунок 31 – Равновесный состав газообразных продуктов горения оптимальной ВОК-2 (66 % воздух: 34% ВОК-2)

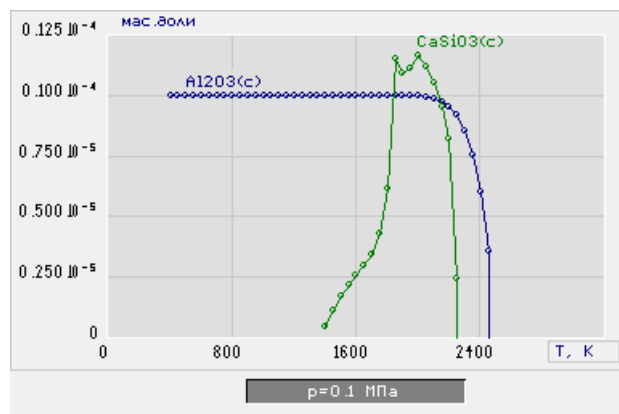


Рисунок 32– Равновесный состав газообразных продуктов горения оптимальной ВОК-2 (66 % воздух: 34 % ВОК-2)

Отсутствие сажи C(c) и NO свидетельствует о том, что идёт в оптимальном режиме процесс при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 66 %.

Проведем расчет адиабатической температуры горения этого состава, с учетом параметров, представленных в таблице 2.

$$t_{ад} = \frac{8,54 + 0,006 \cdot 25 + 1,05 \cdot 7 \cdot 0,001 \cdot 25}{0,0017 \cdot 5,006} = 1040,95 \quad (9)$$

Из расчетов видно, что адиабатическая температура горения ВОК-2 (66 % воздух: 34% ВОК-2) не достаточна для полного сгорания отходов с минимальными потерями тепла в окружающую среду. Для увеличения температуры будем добавлять долю воздушного теплоносителя. Результаты расчетов представлены в таблице 5.

Таблица5 – Адиабатической температуры горения ГЛ

Доля лигнина, %	Зола, %	H ₂ O, %	Воздух, %	Cp	V	Тад
0,33	0,046	21,45	67	0,001656	4,959	1061,37
0,3	0,042	19,5	70	0,001611	4,818	1143,33
0,260	0,036	16,9	74	0,001577	4,640	1227,52

Из результатов расчетов видно, что полное сгорание ГЛ в виде ВОК-2 с минимальными потерями в окружающую среду достигаются при 74 % доле воздушного теплоносителя.

При этом массовая доля ГЛ в виде ВОК-2 составила 26 % по сравнению с 10 % при плазменной утилизации сухого ГЛ.

Далее проводилась оценка удельных энергозатрат, по аналогичной схеме, как и для СЛ: определялись общие энергозатраты по формуле 6 и удельные энергозатраты на обработку 1 килограмма ГЛ по формуле 8.

В таблице 6 и 7 приведены расчеты энергозатрат. На рисунке 33 представлено сравнение затрат на обработку сухого ГЛ и гидролизного лигнина в виде оптимальной ВОК-2.

Таблица 6 – Энергозатраты на процесс плазменной утилизации сухого ГЛ (90 % воздух: 10 % ГЛ)

Т, К	I_T , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	$\mathcal{E}_{уд}$, кДж/кг	$\mathcal{E}_{уд}$, МДж/кг
1000	-2020,0	690	6900	6,9
1500	-1370,0	1340	13400	13,4
2000	-659,6	2050,4	20504	20,5
2500	406,3	3116,34	31163,4	31,16
3000	2363,8	5073,8	50738	50,74

Таблица 7 – Энергозатраты на процесс плазменной утилизации оптимальной водно-органической композиции на основе ГЛ (74 % воздух: 26 % ВОК)

Т, К	I_T , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	$\mathcal{E}_{уд}$, кДж/кг	$\mathcal{E}_{уд}$, МДж/кг
1000	-3920,0	790	3038,46	3,04
1500	-3170,0	1540	5923,08	5,92
2000	-2310,0	2400	9230,77	9,23
2500	-941,2	3768,8	14495,38	14,50
3000	1781,7	6491,7	24968,08	24,97

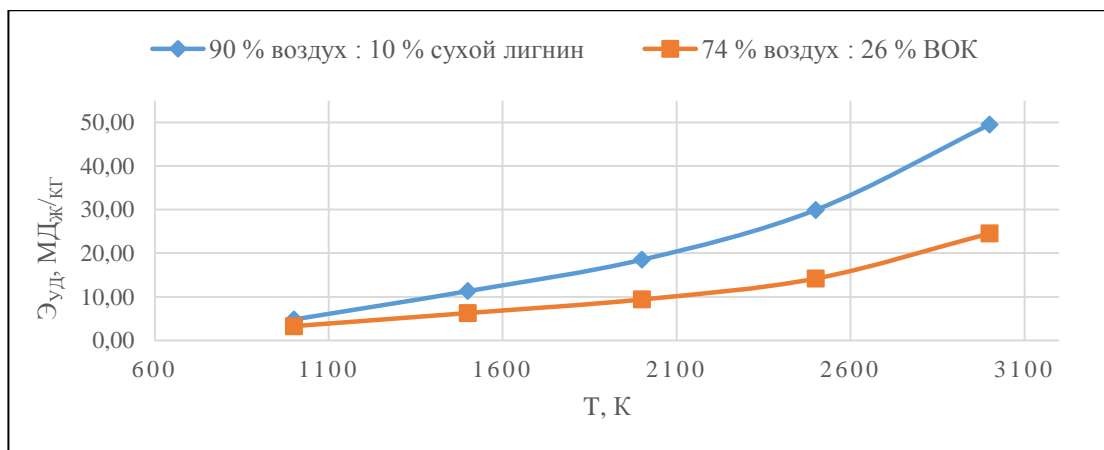


Рисунок 33 – Удельные энергозатраты на процесс
плазменной утилизации 1 кг ГЛ

Из графика делаем вывод о том, что затраты на обработку сухого ГЛ в два раза выше чем обработка в виде оптимальной по составу ВОК-2.

С учетом полученных результатов для практической реализации процесса утилизации ГЛ могут быть рекомендованы следующие оптимальные режимы:

- плазменный теплоноситель - воздух;
- состав водно-органической композиции ВОК-2: 65 % вода: 35 % сульфатный лигнин;
- массовое отношение фаз: 74 % воздух: 26 % ВОК-2;
- интервал рабочих температур 1200 ± 100 °С.

3 Экспериментальное исследование процесса плазменной обработки технических лигнинов

3.1 Схема плазменной установки на базе ВЧФ-плазмотрона

Экспериментальная установка на базе ВЧФ-плазмотрона предназначена для генерирования потоков неравновесной воздушной плазмы с температурой до 5000 К. Общий вид установки представлен на рисунке 15.

В общем случае экспериментальная установка представляет собой функциональное объединение двух блоков:

- высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13 (1);
- технологический блок (2).

Высокочастотный генератор ВЧГ размещён в экранированном металлическом шкафу, обеспечивающем надёжную защиту от электромагнитного излучения, и предназначен для питания установки.

Основные технические характеристики генератора ВЧГ8-60/13 приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики генератора ВЧГ8-60/13

Величина	Ед. изм.	Значение
Напряжение питающей сети	В	380
Частота питающей сети	Гц	50
Потребляемая мощность	кВт	не более 80
Колебательная мощность	кВт	60±6
Рабочая частота	МГц	13,56±0,13
Коэффициент полезного действия	%	не менее 75
Напряжение анодное	кВ	10,4÷10,5
Ток анодный	А	7,6÷7,7
Ток сеточный	А	1,8
Расход охлаждающей воды	м ³ /ч	не менее 1,4

При расчете технологических параметров работы установки использовались следующие соотношения.

Мощность, потребляемая генератором от промышленной сети:

$$P_o = I_a \cdot U_a, \text{ кВт} \quad (10)$$

где I_a - ток анода А;

U_a - напряжение анода, кВ.

Мощность, выделяемая на аноде:

$$P_a = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (11)$$

где m_a - массовый расход воды, кг/с;

Δt_a - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, °С;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на сеточной индуктивности:

$$P_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta t_c \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (12)$$

где m_c - массовый расход воды, кг/с;

Δt_c - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, °С;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на электроде:

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (13)$$

где $m_{эл}$ - массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{эл}$ - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, °С;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на корпусе плазмотрона:

$$P_{кп} = m_{кп} \cdot C_p \cdot \Delta t_{кп} \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (14)$$

где $m_{кп}$ - массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{кп}$ - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, °С;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{разр} = P_0 - (P_a + P_c + P_{\text{э}}), \text{ кВт} \quad (15)$$

Мощность плазменной струи есть разность между мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, выделяющейся на корпусе плазмотрона:

$$P_{стр} = P_{разр} - P_{кп}, \text{ кВт} \quad (16)$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{разр}}{\dot{Q}_2}, \text{ кДж/кг} \quad (17)$$

где \dot{Q}_2 - массовый расход плазмообразующего газа кг/с.

Среднемассовую температуру плазменной струи определяем с помощью графической зависимости энтальпии воздуха от его температуры, представленной на рисунке 34.

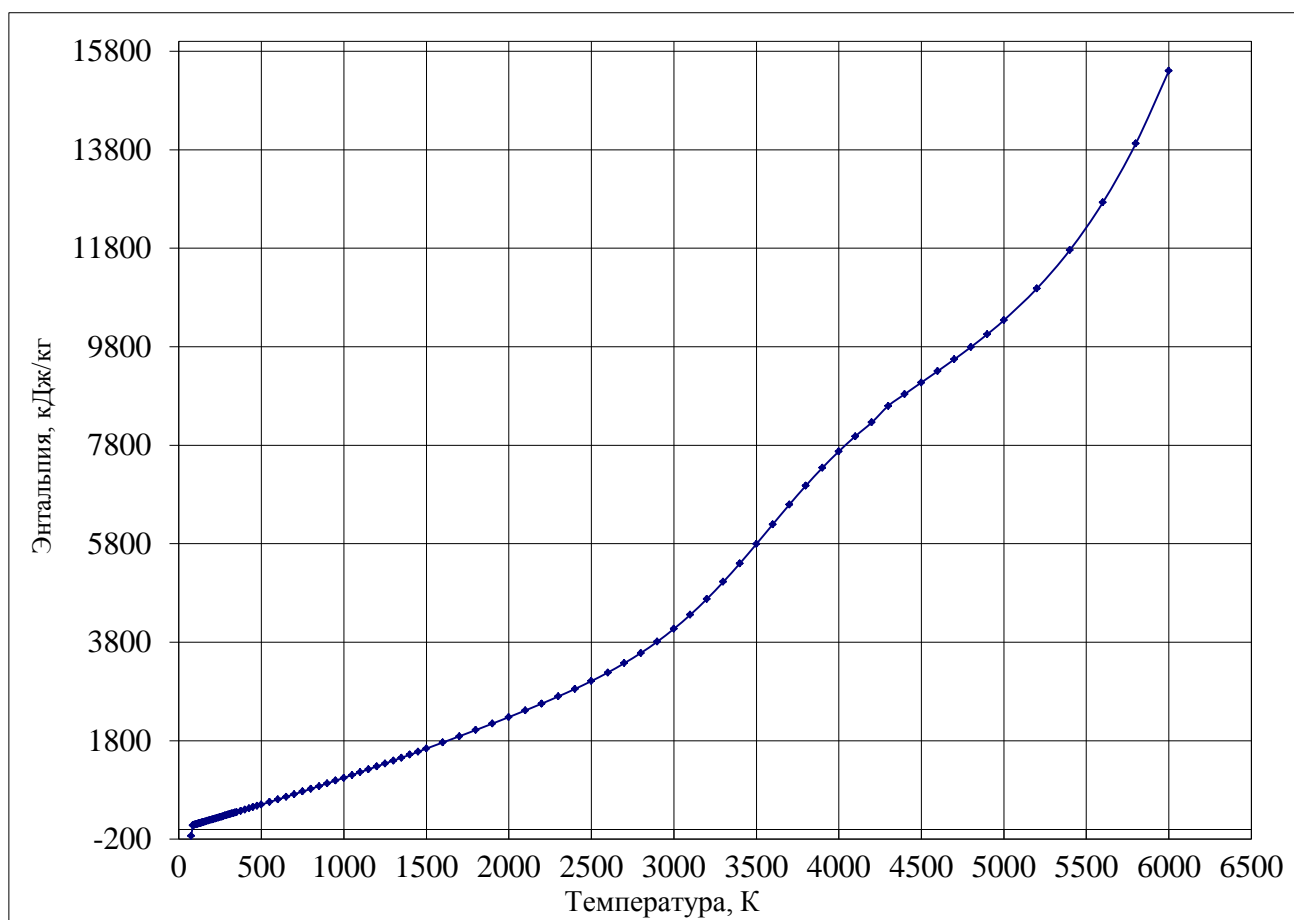


Рисунок 34 – Зависимость энтальпии воздуха от его температуры

3.2 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона

Для определения расхода воздуха через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона, узел ввода плазмообразующего газа плазмотрона был заменен на фторопластовую трубку длиной 300 мм и диаметром 55 мм для получения эквивалентной площади канала ввода воздуха. В нижнем конце трубки через отверстие диаметром 8 мм вставлялась трубка Пито, которая ориентировалась строго навстречу газовому потоку и закреплялась. Трубка Пито определяет скоростной напор ($P_{\text{пг}} = \rho v^2 / 2$) набегающего потока по следующей формуле:

$$\frac{\rho V^2}{2} = P_{\text{п}} - P_{\text{ст}}, \quad (18)$$

где $P_{\text{п}}$ – полное давление, Па;

$P_{\text{ст}}$ – статическое давление, Па;

ρ – плотность воздуха при температуре T , кг/м³;

V – напор, создаваемый набегающим потоком, м/с.

Из формулы (3.9) определяется скорость набегающего потока:

$$V = [2 \cdot (P_{\text{п}} - P_{\text{ст}}) / \rho]^{0,5} \quad (19)$$

Далее рассчитывался объёмный расход плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон по формуле:

$$Q_{\text{пг}} = S_{\text{тр}} \cdot V_{\text{пг}}, \quad (20)$$

где $V_{\text{пг}}$ – скорость воздуха через фторопластовую трубку, м/с;

$S_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения фторопластовой трубки, м².

С учетом полученных данных определялся расход воздуха через реактор по следующей формуле:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{гхд}} - Q_{\text{пг}}, \quad (21)$$

где $Q_{\text{р}}$ – расход воздуха через реактор, м³/с;

$Q_{\text{гхд}}$ – расход плазмообразующего газа через газоход, м³/с;

$Q_{\text{пг}}$ – расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон, м³/с.

Исследования режимов работы плазменного стенда проводились при различных площадях импеллера реактора, которая изменялась при помощи шиберов от 330 см^2 до 1650 см^2 .

Результаты измерений скоростного напора плазмообразующего газа во фторпластовой трубке с помощью трубки Пито, а также расчетов скорости воздушного потока и расхода воздуха, поступающего в ВЧФ-плазмотрон, приведены в приложении В.

На рисунке 35 приведена графическая зависимость расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон от площади импеллера реактора.

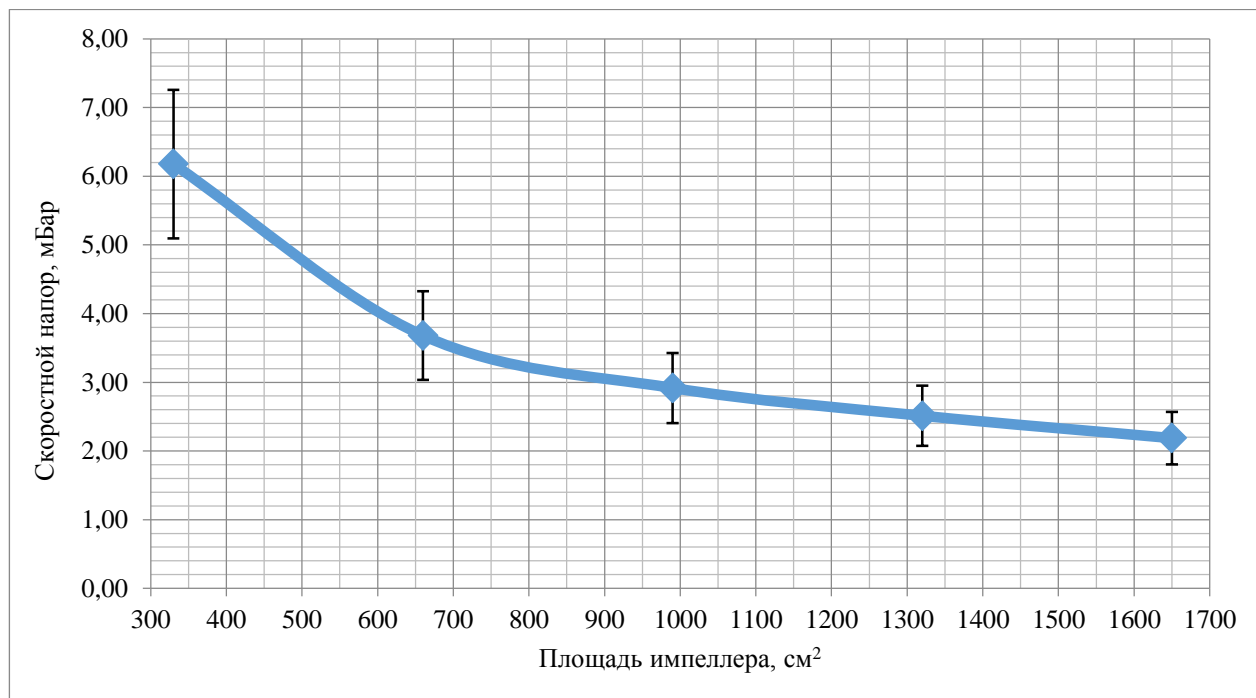


Рисунок 35 – Влияние площади импеллера $S_{\text{имп}}$ реактора на скоростной напор воздушного потока в трубке (диаметр 55 мм) установленной, на входе в ВЧФ-плазмотрон

На рисунке 36 приведена графическая зависимость массового расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон от площади импеллера реактора.

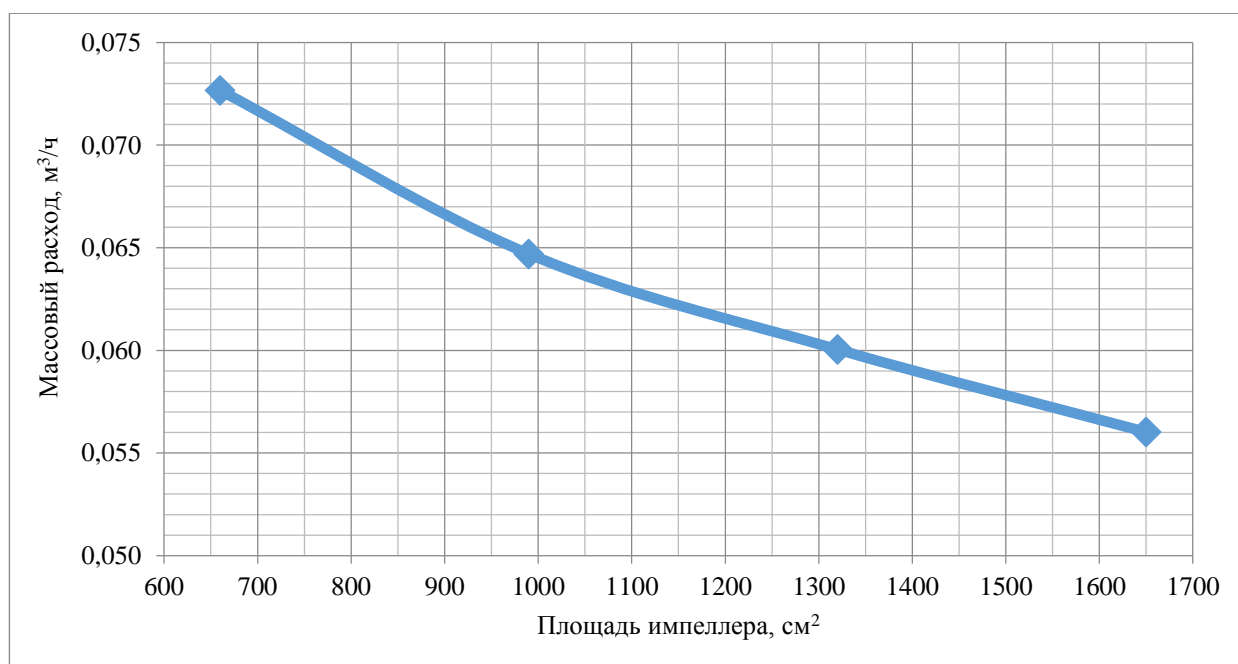


Рисунок 36 – Зависимость массового расхода плазмообразующего газа через плазмотрон от площади импеллера реактора

Из анализа полученных зависимостей следует, что увеличение входной площади импеллера реактора с 330 см² до 1650 см² приводит к заметному снижению скоростного напора (расхода) воздушного потока через трубку (диаметр 55 мм), установленную на входе в ВЧФ-плазмотрон и расход воздуха через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона.

3.3 Определение расхода воздуха через газоход и реактор плазменного стенда

Исследование расхода воздушного потока через газоход после реактора плазменного стенда также проводились с помощью трубки Пито, которая устанавливалась через специальное отверстие в газоход и после ориентирования навстречу газовому потоку, жестко фиксировалась. Исследования проводились при различной входной площади импеллера реактора, изменяемой при помощи шиберов.

Результаты измерений скоростного напора воздушного потока в газоходе с помощью трубки Пито, а также расчетов расхода воздушного потока

через газоход и реактор плазменного стенда приведены в приложении Г (без узла ввода) и в приложении Д (с узлом ввода).

На рисунке 37 приведена графическая зависимость скоростного напора от площади импеллера с учетом и без учета узла ввода.

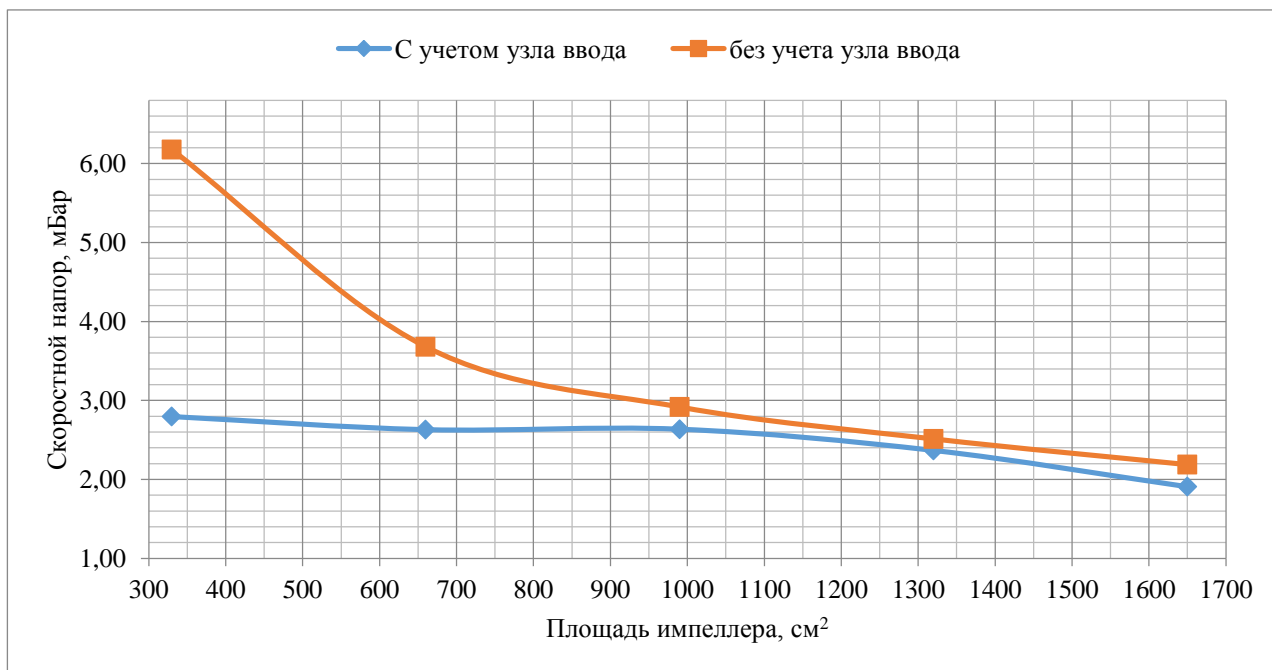


Рисунок 37 – Влияние входной площади импеллера реактора на скоростной напор воздушного потока с учетом узла ввода и без него

Из анализа полученных графических зависимостей скоростного напора воздушного потока видно, что замена узла ввода на равную по входной площади трубку диаметром 55 мм не приводит к существенному изменению скоростного напора воздушного потока в газоходе плазменного стенда.

Графическая зависимость расхода воздушного потока через газоход и реактор плазменного стенда (с узлом ввода) от площади импеллера реактора представлены на рисунке 38.

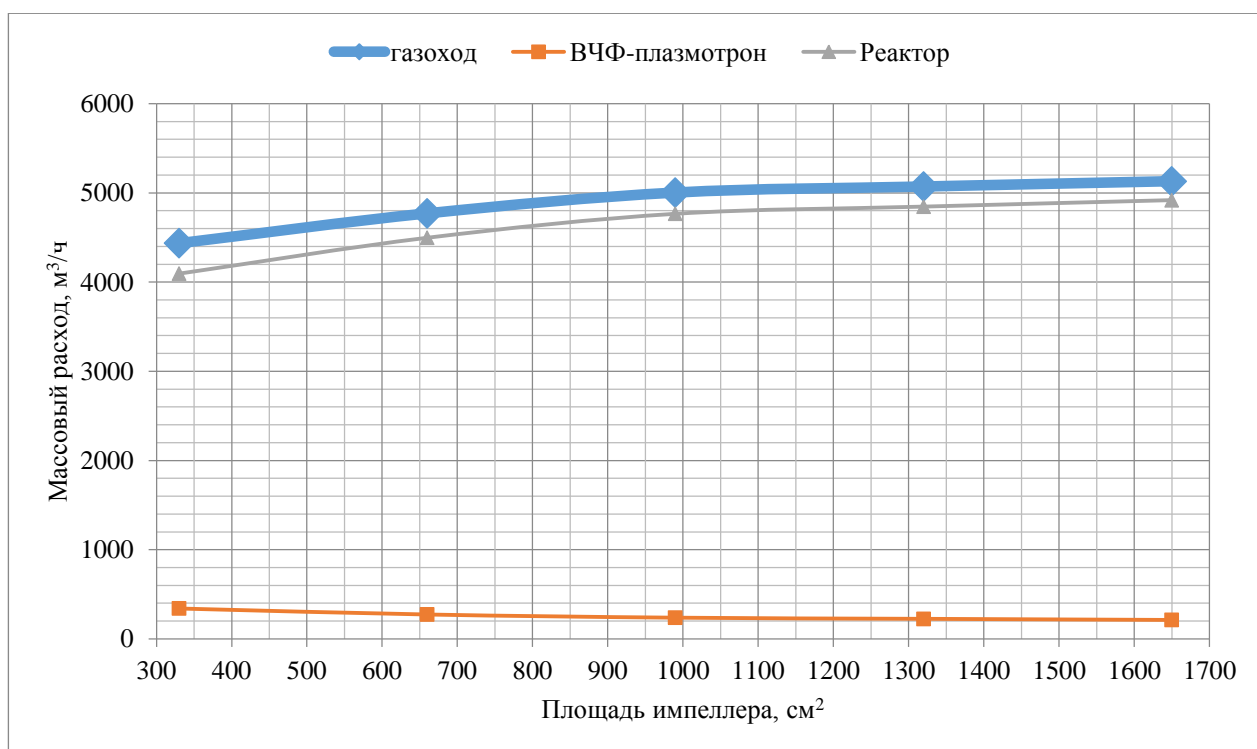


Рисунок 38 – Зависимость расхода плазмообразующего газа через модули плазменного стенда от площади импеллера реактора

Из анализа полученных зависимостей следует, что увеличение входной площади импеллера реактора от 330 см² до 1650 см² приводит к постепенному росту объёмного расхода воздуха через реактор и газоход, после чего эти расходы стабилизируются.

3.4 Исследование режимов работы ВЧФ-плазмотрона

Исследование режимов работы ВЧФ-плазмотрона проводилось на плазменном стенде. Схема лабораторного плазменного стенда приведена на рисунке 15.

Результаты режимов работы высокочастотного генератора и ВЧФ-плазмотрона плазменного стенда при различной входной площади импеллера реактора представлены в приложении Е.

Из представленных результатов видно, что оптимальный режим работы плазменного стенда с установочным КПД более 50 % реализуется при работе

ВЧ-генератора при анодном токе свыше 3,5 А, при этом температура плазменной струи достигает 535 К (255 °С).

Графически влияние мощности плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном, и входной площади импеллера реактора на температуру воздушной плазменной струи, показано на рисунке 39.

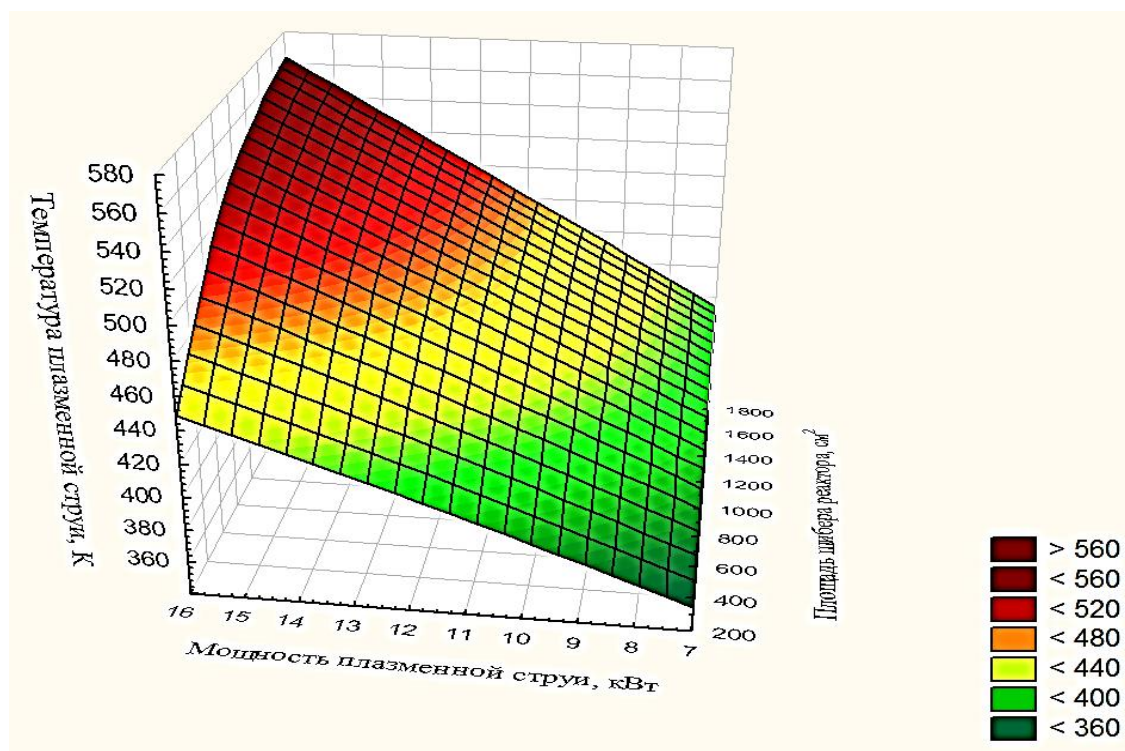


Рисунок 39 – Влияние мощности плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном, и входной площади импеллера реактора на температуру воздушной плазменной струи

На основании полученной зависимости, следует, что мощность плазменной струи и площадь импеллера реактора оказывают существенное влияние на среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном.

На рисунке 40 представлена графическая зависимость установочного КПД плазменного стенда от мощности плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном, и входной площади импеллера реактора.

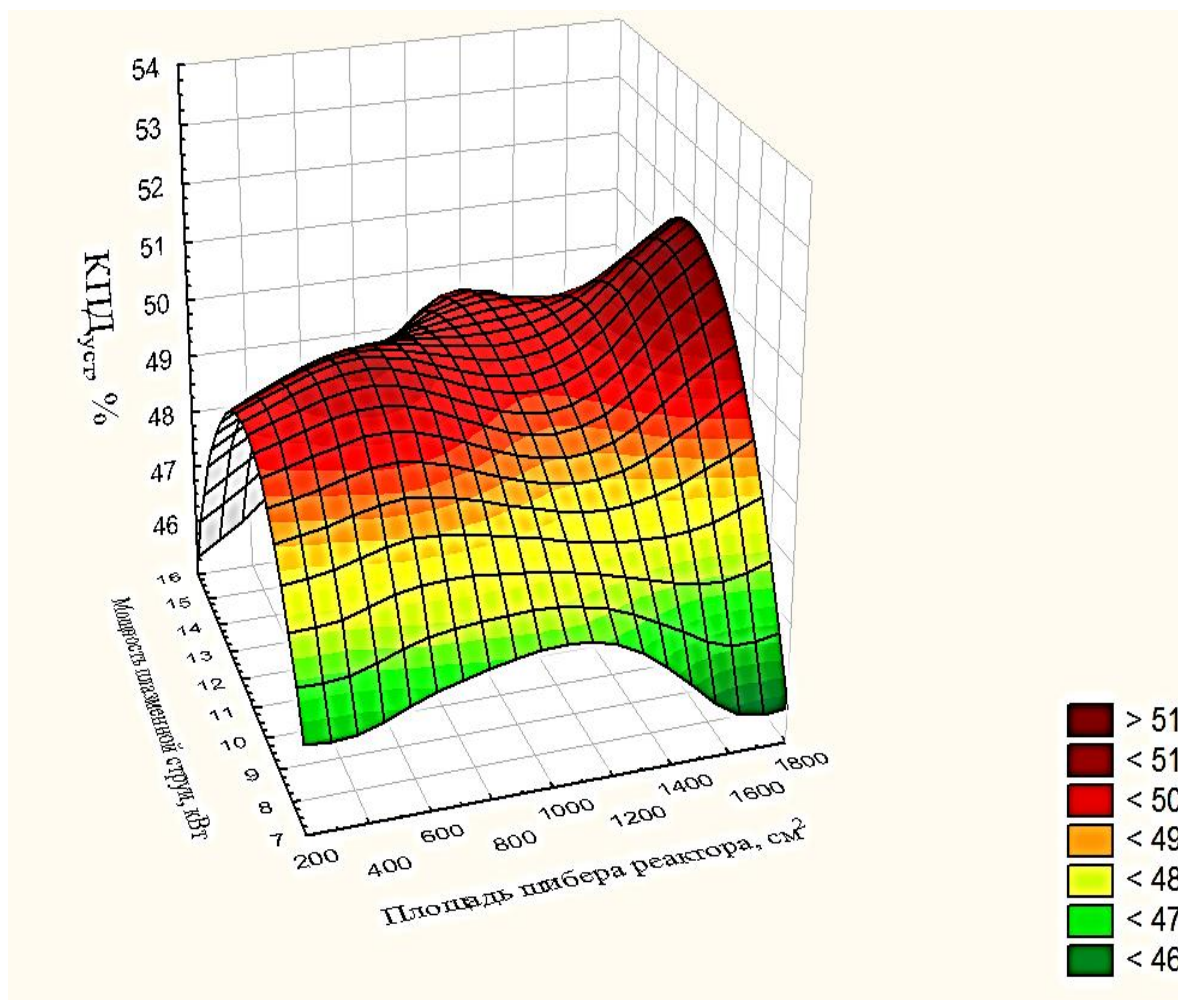


Рисунок 40 – Влияние мощности плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном, и входной площади импеллера реактора на установочный КПД плазменного стенда

Исходя из полученных результатов исследования режимов работы плазменного стенда можно сделать вывод о том, что для практического применения следует работать при токе анода 4 А, входной площади импеллера реактора от 1155 см² до 1485 см². При этом КПД_{уст} достигает 51,6 %, а максимальная температура плазменной струи 255 °С.

Из сравнения этих данных с температурой воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном, следует, что плазменная струя должна обеспечить воспламенение ТБФ и «розжиг» реактора с дальнейшим выходом на рабочий режим с температурой 1200±100 °С.

3.5 Экспериментальные исследования процесса плазменной утилизации сульфатного лигнина

Апробирование процесса плазменной утилизации технического лигнина было проведено на рекомендованной модельной горючей ВОК в воздушной плазме ВЧФ-разряда.

При рекомендованных режимах работы ВЧФ-плазмотрона и подаче в реактор подготовленной композиции в диспергированном виде с помощью диспергатора происходил «розжиг» реактора при температурах воздушной плазменной струи $T_{\text{стр}} \geq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ с последующим выходом реактора на рабочий режим с температурой не менее $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, рисунок 41 и 42.



Рисунок 41 – Фото экспериментальной установки

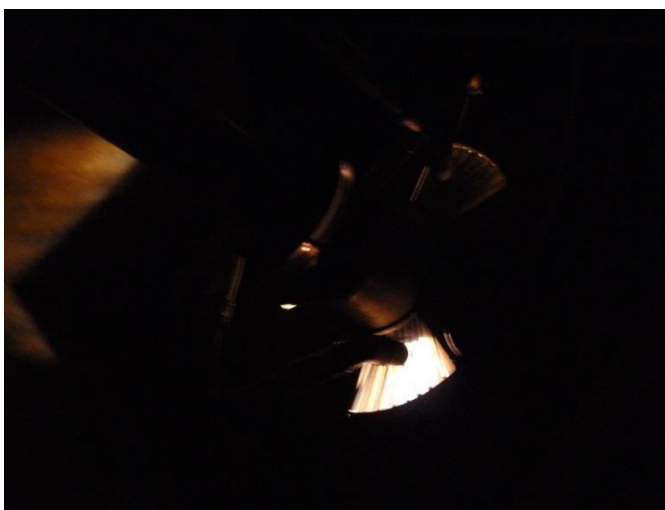


Рисунок 42 – Фото процесса плазменной утилизации модельных составов водно-органической композиции на основе сульфатного лигнина

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Каждый год на Земле образуется около 70 млн. тонн технических лигнинов. Условно считается, что лигнин является ценным источником химического сырья. Но, пока это сырье не всегда доступно с экономической и технической точки зрения.

По данным Международного института лигнина (International Lignin Institute) в мире используется не более 2 % всех видов технических лигнинов. Большая часть отходов производства отправляется в могильники на территории предприятия или сжигается. В данной работе рассматривается плазменный способ утилизации лигнинов.

Для анализа эффективности научного потенциала НИР необходимо проводить не только разработку технологии, но и проанализировать работу с экономической точки зрения: определить экономическую эффективность и затраты на разработку.

В экономической части магистерской диссертации проведен анализ следующих вопросов:

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективы НИР с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. План научно-исследовательских работ
3. Расчет бюджета: материальных затрат, дополнительных выплат и заработной платы.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Отрасли промышленности, связанные с заготовкой, обработкой и переработкой древесного сырья, объединяются в группу с общим названием – лесная промышленность, её называют также лесным комплексом.

Лесная промышленность – старейшая на территории России. В ней выделяются около 20 отраслей, подотраслей и производств. К наиболее значительным относятся лесозаготовительная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная и лесохимическая отрасли.

Целлюлозно-бумажная промышленность – наиболее сложный сегмент лесного комплекса, связанный с механической обработкой и химической переработкой древесины. Она включает производство целлюлозы, бумаги, картона и изделий из них.

Очень остро стоит в настоящее время проблема отходности целлюлозно-бумажных комбинатов. Многотонные отходы этих предприятий складировются, занимая большие площади и отрицательно воздействуя на окружающую среду. Наиболее остро в настоящее время стоит проблема утилизации технических видов лигнина, в том числе и утилизация шлам-лигнина, рисунок 43.

		Применение ВЧФ-плазмотронов для плазменной обработки технических лигнинов		
		Предприятия по получению целлюлозы	Предприятия медицинской отрасли	Предприятия по производству гидролизного лигнина
Потребность	Сильная			
	Слабая			

Рисунок 43– Карта сегментирования рынка услуг по использованию результатов исследований

4.1.2 SWOT-анализ

Проведем SWOT-анализ плазменной обработки лигнина. Результаты первого этапа, а именно описание сильных и слабых сторон проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые

проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в приложении Ж.

Проведем второй этап SWOT-анализа. Результаты приведены в приложении З. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу научной разработки.

Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT-матрицы. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT – анализа, заполняемой на основании анализа приложения З.

Результаты анализа запишем в итоговую таблицу, приложение И.

По результатам SWOT-анализа делаем вывод о том, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над её недостатками. Сильные стороны проекта могут понизить процент угроз исследования.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок составления этапов и работ приведен в приложении К.

4.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Составление и утверждение технического задания	4.02.2016	Приказ № 791/с об утверждении руководителей и тем выпускных квалификационных работ студентов ФТИ
2	Изучение проблемы и подбор литературы	14.03.2016-19.03.2016	Список литературы
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	21.03.2016-9.04.2016	Отчёт
4	Календарное планирование работ	11.04.2016	План работ
5	Моделирование технологического процесса на компьютере	11.04.2016-30.04.2016	Отчёт
6	Планирование и проведение экспериментальных исследований	2.05.2016-21.05.2016	Отчёт
7	Анализ и обработка полученных результатов	23.05.2016-1.06.2016	Отчёт
8	Оценка эффективности полученных результатов	3.06.2016-5.06.2016	Отчёт
9	Составление пояснительной записки	6.06.2016-16.06.2016	Пояснительная записка
10	Проверка правильности оформления пояснительной записки согласно ГОСТу	17.06.2016-18.06.2016	
11	Подготовка к защите	20.06.2016	

4.2.3 План проекта

Календарный план-график проведения научного исследования приведен в приложении Л.

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса;

— покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

— сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований.

Некоторые материалы: ВЧ-генератор, масла и реагенты являются собственностью кафедры Технической физики, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Эксперименты проводились 9 дней по 2 часа (18 часов), мощность установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час, производительность установки 1т/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (22)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,7 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 2,7 \cdot 100 \cdot 18 = 4860 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = C_{вд} \cdot Q \cdot F_{об} , \quad (23)$$

где $C_{вд}$ – тариф на промышленное водоснабжение (8 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{вд} = 8 \cdot 1,8 \cdot 18 = 259,2 \text{ руб.}$$

Расчет затрат представлен в таблице 10

Таблица 10 – Материальные затраты НИР

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Электроэнергия	кВт/ч	1800	2,7	4860
Водоснабжение	м ³	32,4	8	259,2
Итого:			10,7	5119,2

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

При проведении научно-технических исследований в рамках данного проекта использовался портативный газоанализатор Kane Quintox KM9106, проведем расчет затрат на амортизацию используя метод уменьшаемого остатка.

При использовании способа уменьшаемого остатка годовая сумма амортизационных отчислений определяется исходя из остаточной стоимости объекта основных средств на начало отчетного года и нормы амортизации, исчисленной на основании срока полезного использования этого объекта:

$$A = C_{\text{ост.}} \times \frac{k \times H_a}{100} \quad (24)$$

где $C_{\text{ост}}$ – остаточная стоимость объекта; k – коэффициент ускорения; H_a – норма амортизации для данного объекта.

Стоимость портативного газоанализатор Kane Quintox KM9106 составляет 542800 рублей. Заявленный срок службы составляет 6 лет. Коэффициент ускорения примем равным 2. Годовая доля амортизации составляет: $H_a = 100 : 6 \cdot 2 = 33,33\%$

Таким образом, годовая амортизации будет равна:

$$A_{\text{год}} = 542800 \times \frac{2 \times 33,33}{100} = 361830,48 \text{ руб}$$

Рассчитаем амортизационные отчисления на период написания диплома (137 дней).

$$A_{\text{дипл}} = \frac{361830,48}{365} \times 137 = 135810,35 \text{ руб}$$

На период написания диплома общая сумма амортизации составила. 135810,35 рублей.

Данный метод расчета позволяет списать максимальную амортизационную стоимость в первые годы работы оборудования.

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья включает в себя затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в выполнении НИР, включая (премии, доплаты, и дополнительную заработную плату).

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (25)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основную заработную плату руководителя НИР можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{раб}}, \quad (26)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}}, \quad (27)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн, таблица 11.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер-исследователь
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: – выходные дни;	52	104

– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot \kappa_{\text{р}}, \quad (28)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента $З_{\text{тс}}$ составляет 22300 руб., для инженера исследователя 10223 руб.);

$\kappa_{\text{р}}$ — районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	к _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т раб раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	22300	1,3	28990	1201	10	12010
Инженер	10223		13290,316	477	96	42912
Итого З _{осн} :						54922

4.3.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot \kappa_{\text{доп}}, \quad (29)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$\kappa_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($\kappa_{\text{доп}}=0,1$);

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 13 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 13 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата, руб	12010	42912
Дополнительная зарплата, руб	1201	4291
Зарплата исполнителя, руб	13211	47203
Итого по статье $C_{\text{зн}}$, руб	60414	

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (30)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 № 212 - ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представим в таблице 14.

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	Сумма отчислений
Руководитель проекта	12010	1201	0,271	3580,2
Студент- инженер	42912	4291		12792
Итого:				16372,2

4.3.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (31)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{\text{накл}} = 30 \%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot 60414 = 18124,2 \text{ руб.}$$

4.3.7 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Так как при проведении научно-технических исследований все подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 ФТИ ТПУ с имеющимся оборудованием и расходными материалами только научным руководителем и дипломником без привлечения сторонних организаций, то в данном случае можно говорить, что контрагентные расходы отсутствуют.

4.3.8 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	5119,2
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	548000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	54922
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5492
5. Отчисления во внебюджетные фонды	16372,2
6. Накладные расходы	18124,2
7. Контрагентные расходы	0
Бюджет затрат НТИ:	648029,6

4.4 Расчет бюджета традиционного метода утилизации

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

При обработке шлам лигнина традиционным методом используется расходные материалы, представленные в таблице 16.

Таблица 16 – Расходные материалы традиционного метода переработки

Наименование сырья, химикатов, энергоресурсов	Ед.изм.	Норма расхода на 1 т отхода
Зетаг (флокулянт)	кг	2,8
Свежая вода	м ³	15
Электроэнергия	тыс. кВт.ч	0,370

Рассчитаем затраты на работу установки в течение 18 дней традиционным методом.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле и составляют:

$$C_{эл} = 2,7 \cdot 0,37 \cdot 1000 \cdot 18 = 17982 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются и составляют:

$$C_{вд} = 8 \cdot 15 \cdot 18 = 2160 \text{ руб.}$$

Посчитаем затраты на флокулянт:

$$C_{флок} = N_{флок} \cdot Ц_{флок} = 50,4 \cdot 224 = 11289,6 \text{ руб}$$

где $N_{флок}$ - количество флокулянта, кг;

$Ц_{флок}$ – цена флокулянта руб./кг;

Материальные затраты составляют:

$$C_m = 17982 + 2160 + 11289,6 = 31431,6 \text{ руб.}$$

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование

Печи кипящего слоя являются инструментом для обработки шлам лигнина при традиционном методе обработки. Общая стоимость установки,

производительностью 40 т в сутки составляет 4,5 млн.руб. Проведем расчет амортизационных отчислений методом уменьшаемого остатка.

Таким образом, годовая амортизации будет равна:

$$A_{\text{год}} = 4500000 \times \frac{2 \times 33,33}{100} = 2999700 \text{ руб}$$

Амортизационные отчисления на период написания диплома (137 дней).

$$A_{\text{дипл}} = \frac{2999700}{365} \times 137 = 1125974,8 \text{ руб}$$

На период написания диплома общая сумма амортизации составила. 1125974,8 рублей.

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Работу цеха по переработке отхода обеспечивают 6 инженеров. Рассчитаем основную заработную плату по формуле с учетом баланса рабочего времени для одного инженера, таблица 17.

Таблица 17 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	К _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т раб раб. дн.	З _{осн} , руб.
Инженер	10223	1,3	13290,316	477	96	42912
Итого З _{осн} для 1 инженера:						54922
Итого З _{осн} для всей группы работников:						329532

4.4.4 Дополнительная заработная плата

Рассчитаем дополнительную заработную плату по формуле 29.

В таблице 18 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 18 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Инженер	Группа работников
------------------	---------	----------------------

Основная зарплата, руб	42912	329532
Дополнительная зарплата, руб	4291	32953
Итого по статье $C_{зп}$, руб		362485

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы 30, результаты расчета представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная з/п, руб.	Дополнительная з/п, руб.	Коэффициент отчислений	Сумма отчислений, руб
Инженер	42912	4291	0,271	12792
Итого на группу работников (6 инженеров):				76752

4.4.6 Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot 362485 = 108745,5 \text{ руб.}$$

4.4.7 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями. В целлюлозно-бумажном производстве при переработке отхода сотрудничества со сторонними организациями не предусматривается. Поэтому контрагентные расходы равны нулю.

4.4.8 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на традиционный метод обработки лигнина по каждому варианту исполнения приведен в таблице 20

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	31431,6
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	4500000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	329532
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	32953
Отчисления во внебюджетные фонды	76752
Накладные расходы	108745,5
Контрагентные расходы	0
Итого бюджет затрат:	5079415

4.5 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 44.



Рисунок 44 – Организационная структура научного проекта

4.6 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в приложении М.

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

4.7 Определение интегрального показателя эффективности

Эффективность планируемого исследования можно оценить на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Данный показатель определяется из двух средневзвешенных величин:

- финансовой эффективности;
- ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (32)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} - стоимости i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} - максимальная стоимость исполнения научно – исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля). Представим расчет в виде таблицы 21.

Таблица 21 – Интегральный финансовый показатель

	Плазменная обработка	Традиционный метод переработки
I_{ϕ}^p	0,13	1

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (33)$$

где I_m - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i - весовой коэффициент i -го варианта параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;
 n – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта представлена в приложении Н. На основе данных были проведены расчеты интегрального показателя ресурсоэффективности вариантов исполнения:

$$I_m^{\text{плаз}} = 3 \cdot 0,11 + 5 \cdot 0,09 + 3 \cdot 0,11 + 5 \cdot 0,11 + 5 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,09 + 2 \cdot 0,05 = 4,07$$

$$I_m^{\text{трад}} = 5 \cdot 0,11 + 1 \cdot 0,09 + 1 \cdot 0,11 + 2 \cdot 0,11 + 3 \cdot 0,09 + 1 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,09 + 3 \cdot 0,07 + 3 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,05 = 2,9;$$

Полученные результаты, позволяют сделать вывод о том, что научно-техническое исследование обладает наибольшей ресурсоэффективностью при плазменном способе обработки отхода, т.е. при средней производительности, и повышенном энергосбережении.

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}, I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} \quad (33)$$

Результаты расчета представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Интегральный показатель эффективности разработки и ее аналогов

	Плазменная обработка	Традиционный метод переработки
$I_{\text{финр}}^p$	31,3	2,9

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (34)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$ - интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$ - интегральный показатель аналога.

Результаты расчета сравнительной эффективности представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Сводная таблица параметров

№	Показатель	Плазменная обработка	Традиционный метод
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,13	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,07	2,9
3	Интегральный показатель эффективности	31,3	2,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	10,8	1

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет делать вывод о том, что разрабатываемый вариант технологии является наиболее эффективным.

5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда.

Охрана труда – система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [40].

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредный производственный фактор – фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности [41].

Эксперименты проводились в лаборатории Физико-технического института на кафедре технической физики.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов при работе в лаборатории

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В таблице 24 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 24 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на плазменной установке	Химические токсические вещества		ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества.
Работа на плазменной установке		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
Работа на ПВЭМ	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
Работа на плазменной установке		Пожарная	ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность.

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- температура оборудования;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле высокой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

Химические:

- вредные вещества, которые различными путями проникают в организм человека (через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, через кожные покровы и слизевые оболочки);

Рисунок 45 — Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости, а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация:

- в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе;

- в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30° .

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте + 3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;

— в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 °.

5.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами и приведены в таблице 25 [41].

Таблица 25 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений.

При эксплуатации данной установки в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как CO, NO, SO, NO₂, CH₄, H₂S.

В таблице 26 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК)

вредных веществ и их класс опасности [42].

Таблица 26 – Нормы ПДК. Классы опасности: 1 – вещества чрезвычайной опасности; 2 – вещества высоко опасные; 3 – вещества умеренно опасные; 4 – вещества мало опасные.

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид азота	5,0	2
2	Диоксид азота	2,0	2
3	Оксид углерода	20,0	4
4	Диоксид серы	10,0	3
5	Сумма углеводородов	300,0	4

Психофизиологические:

- физические перегрузка (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом - от 20 до 25 °С, зимой – от 13 до 15 °С.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе.

Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [44] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

— увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

— применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др.

Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [43] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более $7,7 \cdot 10$ А/кг, что соответствует эквивалентной дозе, равной 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.3 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических

мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрозащитные средства — это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги.

Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетокведущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей) [44, 45].

В случае поражения работающего персонала на установке электрическим током необходимо отключить установку от сети и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего, которые определяются путём проведения следующих мероприятий:

- уложить пострадавшего спиной на твёрдую поверхность;
- проверить наличие дыхания и пульса;
- выяснить состояние зрачка.

Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока — обеспечить ему условия для полного покоя, следить за дыханием и пульсом, вызвать врача.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но дышит

и прощупывается пульс, необходимо привести его в сознание, дать понюхать нашатырный спирт и обрызгивать водой, при необходимости делать искусственное дыхание и массаж сердца.

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [45, 46], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил

организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При ожогах рук (или кожного покрова других частей тела) обожжённую поверхность следует перевязать так же как любую рану, покрыть стерилизованным материалом из пакета или чистой глаженной полотняной тканью, сверху положить слой ваты и закрепить бинтом. После этого пострадавшего следует отправить в лечебное учреждение. Запрещается касаться руками обожженного участка кожи и смазывать его какими-либо мазями, маслами, вазелином или растворами. Не следует производить вскрывание пузырей и обожженных участков, так как при этом создаются благоприятные условия для заражения раны микробами с последующим нагноением.

Выводы

1. Проведен анализ существующих методов получения и переработки технических лигнинов, в результате чего подтверждено отсутствие эффективных методов переработки отхода.

2. Обоснован выбор ВЧФ-плазмотронов для переработки технических лигнинов.

3. Определены оптимальные составы для процесса плазменной утилизации ВОК на основе сульфатного и гидролизного лигнина с наименьшей теплотой сгорания $Q_n^p \approx 8,4$ МДж/кг и адиабатической температурой горения 1200°C . Определены оптимальные режимы для практической реализации процесса:

- Плазменный теплоноситель - воздух;
- Составы водно-органических композиций:
ВОК1: 65 % вода: 35 % сульфатный лигнин;
ВОК2: 56 % вода: 44 % сульфатный лигнин;
- Массовое отношение фаз: 74 % воздух: 26 % ВОК;
- Интервал рабочих температур $1200 \pm 100^\circ\text{C}$.

4. В ходе экспериментальных исследований подтверждены рекомендованные режимы утилизации сульфатного лигнина в воздушной плазме ВЧФ-разряда:

- $P_{\text{стр}} \approx 10$ кВт;
- $S_{\text{имп}} = 1155 \div 1485 \text{ см}^2$;
- $\text{КПД}_{\text{уст}} = 60 \%$;
- $T_{\text{стр}} \geq 200^\circ\text{C}$

Заключение

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании плазменных установок для промышленной утилизации технических лигнинов различного состава и назначения.

Список публикаций

1. Karengin A. G. , Karengin A. A. , Novoselov I. Y. , Piunova K. G. Performance Evaluation of Plasma Sulphate Disposal Lignin // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 1040. - p. 429-432.
2. Каренгин А. Г. , Каренгин А. А. , Новоселов И. Ю. , Пиунова К. Г. Применение ВЧФ-плазмотронов для плазменной обработки водно-солевых отходов // Альтернативная энергетика и экология. - 2015 - №. 23. - С. 138-143.
3. Власов В. А. , Каренгин А. Г. , Каренгин А. А. , Пиунова К. Г. Исследование и оптимизация процесса плазменной утилизации шлам-лигнина // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 3/3. - С. 86-89.
4. Пиунова К. Г. , Новоселов И. Ю. Оценка эффективности процесса плазменной утилизации шлам-лигнина [Электронный ресурс] // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XI Международной конференция студентов и молодых ученых, Томск, 22-25 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 169-171.
5. Каренгин А. А. , Новоселов И. Ю. , Пиунова К. Г. Оценка эффективности процесса плазменной утилизации сульфатного лигнина [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 14-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 3 - С. 44-45.
6. Пиунова К. Г. , Каренгин А. Г. Плазменное получение тепловой энергии из сульфатного лигнина [Электронный ресурс] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 189-190.
7. Пиунова К. Г. , Каренгин А. Г. Плазменная утилизация сульфатного лигнина в виде горючих водно-органических композиций [Электронный ресурс] // Физико-технические проблемы атомной науки,

энергетики и промышленности: сборник тезисов докладов VI Международной научно-практической конференции, Томск, 5-7 Июня 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 137.

Список используемых источников

1. Шарков В. И., Куйбина Н. И. Химия гемицеллюлоз. – Лесная промышленность, 1972. 344 с.
2. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. – 1999. 463 с.
3. Боголицына К.Г., Лунина. В.В. Физическая химия лигнина. М.: Академкнига/Учебник, 2010. 490 с.
4. Соколова И.В. Непрерывный способ получения лигнино-стимулирующего удобрения// Сборник трудов Всесоюзного научно-исследовательского института гидролиза растительных материалов (ВНИИГидролиз)/ Всесоюзный научно-исследовательский институт гидролиза растительных материалов (ВНИИГидролиз). — 1969. — Том 18. — С. 221-226.
5. Natakaeyama H. Possibility of obtaining ecological polymers with the use of plant components// Petrotech. 2000. V. 23. №9. С. 724–730.
6. Шарыгина Н.Н., Резников В.М., Елкин В.В. Реакционная способность лигнина. М.: Наука. 1976. 368 с.
7. Сухановский С.И. Физико-механические свойства и капиллярно-пористая структура углей из гидролизного лигнина/. Сообщение 1, Изменение древесины ели, сосны, березы в процессе гидролиза // Сборник трудов Всесоюзного научно-исследовательского института гидролиза растительных материалов (ВНИИГидролиз) / Всесоюзный научно-исследовательский институт гидролиза растительных материалов (ВНИИГидролиз). — 1969. — Том 18. — С. 211-221.
8. Celeghini R., Mauro L.F. Optimization of the direct liquefaction of lignin obtained from sugar cane bagasse// Energy Sources. 2001. V. 23. № 4. С. 369 – 375.
9. Шорыгина Н. Н., Колотова Л. И. О зависимости свойств хлорпроизводных лигнина от условий хлорирования. – 1957.

10. Иванов Ю. С., Никандров А. Б. Технология целлюлозы. Варочные растворы, варка и отбелка целлюлозы: учебно-практическое пособие //СПб., СПбГТУРП. – 2014. 6 с.
11. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991 г.
12. Bridgwater A.V., Grassi G. Biomass pyrolysis liquids upgrading and utilization. London: Elsevier applied science, 1990, 377 с.
13. Яковлев С. В. и др. Очистка производственных сточных вод: под ред //учеб. пособие для вузов.– М.: Стройиздат. – 1985. 30 с.
14. Жуков А. И. Канализация. – Стройиздат, 1969. С. 598-599.
15. Листов В. В., Петрищев А. Г. Основные вехи развития химической промышленности в СССР //Развитие химической промышленности в СССР (1917—1980 гг.). –М.: Наука. – 1984. – Т. 1. – С. 21.
16. Осипова Л.В. Использование продуктов растительного происхождения в качестве сырья для получения органических продуктов и полимерных материалов – Хим.промышленность за рубежом,-1989, №8. С. 48-60.
17. Семенов М.В., Василькович Л.А. Использование лигнина в качестве топлива – Гидролизная и лесохимическая промышленность, – 1980, №2, с. 15-17.
18. Славянский А. К. и др. Химическая технология древесины //М.: Гослесбумиздат. – 1962. 577 с.
19. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. – 1999. 628 с.
20. Закис Г. Ф. Функциональный анализ лигнинов и их производных. – 1987. 230 с.
21. Довгань И.В., Леонович А.О. Термохимические исследования препаратов лигнина – Химия древесины, 1992, № 4, с.91-96.

22. Довгань И.В. Экологические аспекты безотходного использования морских водорослей – Сборник научных статей "Утилизация отходов, организация и контроль полигонов" – Одесса, 1999, 116 с.
23. Ершов В. А., Данцис Я. Б., Жилов Г. М. Теоретические основы химической электротермии. – 1978. 50 с.
24. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы. – Л.: «Химия» Ленинградское отделение, 1981. 104 с.
25. Тихомиров И.А., Власов В.А., Луценко Ю.Ю. Физика и электрофизика высокочастотного факельного разряда и плазмотроны на его основе. – М.: Энергоиздат, 2002. 195 с.
26. Каренгин А. Г. С 90 Плазменные процессы и технологии: Учебное пособие.–Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 41 с.
27. Низкотемпературная плазма. ВЧ- и СВЧ-плазмотроны /под ред. Дресвина С.В., Русанова В.Д. - Новосибирск: Наука, 1992 г. 320 с.
28. Дресвин С.В., Донской А.В., Ратников Д.Г. Высокочастотный индукционный разряд в камере с металлическими водоохлаждаемыми стенками – М.: Наука, 1965 г. 152 с.
29. А.С. Коротеев, В.М. Миронов, Ю.С. Свирчук. "Плазмотроны. Конструкции, характеристики, расчет". Москва, Машиностроение, 1993. 267 с.
30. Корохов О.А., Кузьмин Л.А. Мегаваттный ВЧ-плазмотрон с пористой разрядной камерой – Новосибирск: Наука, 1989 г. 144 с.
31. Григорович Р., Кристеску Д. – К теории ВЧФ-разряда – М.: Наука, 1985 г. – 108 с.
32. Рыкалин Н. Н. Исследование энергетических параметров ВЧЕ-плазмотрона //Физика и химия обраб. материалов. – 1975. – №. 4. – С. 3-6.
33. Райзер Ю.П. Физика газового разряда: учеб. руководство – М.: Наука, 1987 г. 592 с.
34. Бородин В.И. Физика и техника дугового разряда высокого давления: Учеб. пособие / В.И. Бородин. Петрозаводск, 1999. 104 с.

35. Тихомиров И. А. Высокочастотные факельные плазмотроны и их практическое применение //Известия СО АН СССР, Серия техн. наук. – 1980. – №. 8. – С. 3-13.
36. Руденко К. В. Диагностика плазменных процессов в микро-и наноэлектронике //Химия высоких энергий. – 2009. – Т. 43. – №. 3. 63 с.
37. Васильев А.С. Ламповые генераторы для ВЧ-нагрева – Спб: Машиностроение, 1979 г. 87 с.
38. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. М.: Химия, 1979. 424 с.
39. Арбузов В.В. Композиционные материалы из лигнинных веществ. М.: Экология. 1991. С. 7-14.
40. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
41. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
42. Федеральный закон «Об охране окружающей природной среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002 г.
43. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ.
44. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность
45. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.
46. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

Приложение А

(справочное)

Теплота сгорания влажного сульфатного лигнина

Собственно лигнин $C_9H_{10}O_2$, %	Сера S, %	Лигногуминовые соединения $C_{30}H_{10}O_6$, %	Зола, %	H_2O , %	Q_H^p , Мдж/кг
85	2	11	2	0	22,638
76,5	1,8	9,9	1,8	10	20,124
68	1,6	8,8	1,6	20	17,610
59,5	1,4	7,7	1,4	30	15,097
51	1,2	6,6	1,2	40	12,583
42,5	1	5,5	1	50	10,069
41,65	0,98	5,39	0,98	51	9,818
40,8	0,96	5,28	0,96	52	9,566
39,95	0,94	5,17	0,94	53	9,315
39,1	0,92	5,06	0,92	54	9,063
38,25	0,9	4,95	0,9	55	8,812
37,4	0,88	4,84	0,88	56	8,561
36,55	0,86	4,73	0,86	57	8,309
35,7	0,84	4,62	0,84	58	8,058
34,85	0,82	4,51	0,82	59	7,807
34	0,8	4,4	0,8	60	7,555
25,5	0,6	3,3	0,6	70	5,041
17	0,4	2,2	0,4	80	2,528
8,5	0,2	1,1	0,2	90	0,014

Приложение Б

(справочное)

Теплота сгорания влажного гидролизного лигнина

Собственно лигнин $C_9H_{10}O_2$, %	Полисахариды $C_6H_{10}O_5$, %	Лигногуминовые соединения $C_{30}H_{10}O_6$, %	Зола, %	H_2O , %	Q_H^p , Мдж/кг
60	30	9,6	0,4	0	29,043
54	27	8,64	0,36	10	25,889
48	24	7,68	0,32	20	22,735
42	21	6,72	0,28	30	19,580
36	18	5,76	0,24	40	16,426
30	15	4,8	0,2	50	13,272
24	12,	3,84	0,16	60	10,117
23,4	11,7	3,744	0,156	61	9,802
22,8	11,4	3,648	0,152	62	9,486
22,2	11,1	3,552	0,148	63	9,171
21,6	10,8	3,456	0,144	64	8,856
21	10,5	3,36	0,14	65	8,54
20,4	10,2	3,264	0,136	66	8,225
19,8	9,9	3,168	0,132	67	7,909
19,2	9,6	3,072	0,128	68	7,594
18,6	9,3	2,976	0,124	69	7,278
18	9	2,88	0,12	70	6,963
12	6	1,92	0,08	80	3,809
6	3	0,96	0,04	90	0,654

Приложение В

(справочное)

Определение расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон

№ п/п	S _{имп}		P _{пг} , мБар							P _{ср}	P _{пг}	T _{пг}	ρ _{возд}	V _{пг}	ρ*V ² /2	Q _{пг}	
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7	мБар	Па	⁰ С	кг/м ³	м/с	кг/(м ² с)	м ³ /с	кг/с
1	3 х 10	1650	2,37	2,64	2,79	2,43	2,06	2,55	2,21	2,44	243,57	17,5	1,225	19,94	243,57	0,048	0,056
2	3 х 8	1320	2,64	3,05	2,76	2,69	2,66	2,88	2,52	2,74	274,29	17,5	1,225	21,16	274,29	0,051	0,063
3	3 х 6	990	2,76	2,81	2,55	2,85	3,05	2,74	2,35	2,73	273,00	17,5	1,225	21,11	273	0,051	0,063
4	3 х 4	660	3,2	3,38	2,85	2,90	2,66	2,48	3,49	2,99	299,43	17,5	1,225	22,11	299,43	0,053	0,065
5	3 х 2	330	2,35	3,2	3,22	3,53	3,03	3,42	2,65	3,06	305,71	17,6	1,225	22,34	305,71	0,054	0,066

Приложение Г

(справочное)

Определение расхода воздушного потока через газоход и реактор плазменного стенда без узла ввода

№ п/п	S _{имп}		P _{пг} , мБар							P _{ср}	P _{пг}	T _{пг}	ρ _{возд}	V _{пг}	ρ*V ² /2	Q _{пг}	
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7	мБар р	Па	°C	кг/м ³	м/с	кг/(м ² с)	м ³ /ч	кг/с
1	3 x 10	1650	3,52	3,56	3,62	3,21	3,52	3,35	3,33	3,44	218,71	14,3	1,225	18,9	218,71	3401,40	1,16
2	3 x 8	1320	3,65	3,37	3,65	3,22	3,47	3,42	3,49	3,47	251,29	14,3	1,225	20,25	251,29	3645,89	1,24
3	3 x 6	990	3,2	3,26	3,08	3,42	3,43	3,44	3,49	3,33	291,71	14,4	1,225	21,82	291,71	3928,24	1,34
4	3 x 4	660	3,05	3,29	3,21	3,22	3,07	3,2	3,26	3,19	368,00	14,4	1,225	24,51	368,00	4412,08	1,50
5	3 x 2	330	5,85	2,78	2,67	2,79	2,61	2,7	2,51	2,6	617,71	14,4	1,225	31,76	617,71	5716,28	1,95

Приложение Д

(справочное)

Определение расхода воздушного потока через газоход и реактор плазменного стенда с учетом узла ввода

№ п/ п	S _{имп}		P _{пг} , мБар							P _{ср}	P _{пг}	T _{пг}	ρ _{возд}	V _{пг}	ρ*V ² /2	Q _{пг}	
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7	мБа р	Па	°C	кг/м ³	м/с	кг/(м ² с)	м ³ /ч	кг/с
1	3 х 10	1650	3,35	3,15	3,19	3,21	3,31	3,45	3,56	3,32	190,71	14,5	1,225	17,65	190,71	3176,22	1,08
2	3 х 8	1320	3,26	3,28	3,16	3,03	3,39	3,17	3,39	3,24	236,71	14,5	1,225	19,66	236,71	3538,60	1,20
3	3 х 6	990	3,28	2,98	3,28	3,16	3,03	3,25	3,1	3,15	263,57	14,6	1,225	20,74	263,57	3733,95	1,27
4	3 х 4	660	3,16	2,85	2,9	2,8	2,74	2,83	2,79	2,87	263,00	14,6	1,225	20,72	263,00	3729,90	1,27
5	3 х 2	330	3,29	2,24	2,38	2,33	2,41	2,46	2,24	2,48	279,57	14,6	1,225	21,36	279,57	3845,62	1,31

Приложение Е

(справочное)

Режимы работы ВЧГ и плазменного стенда

№ опыта	S _{шр} , см ²	U _{а,к} В	I _а , А	I _с , А	P _о , кВт	P _р , кВт	P _{стр} , кВт	η _{уст} , %	T _{стр} К
1	825	5,8	3	1,2	17,4	8,37	8,22	47,25	436
2	825	6,5	3,5	1,2	22,75	11,66	11,99	52,72	497
3	825	7	4	1,2	28	14,51	14,38	51,34	535
4	825	7,5	4,5	1,2	30	14,08	15,33	47,34	550
5	990	5,8	3	1,2	17,4	8,39	8,34	47,93	434
6	990	6,5	3,5	1,2	22,75	11,69	11,95	52,52	491
7	990	7	4	1,2	28	14,81	14,37	51,33	529
8	990	7,5	4,5	1,2	30	13,87	13,23	45,94	511
9	1155	5,8	3	1,2	17,4	8,34	8,3	47,69	429
10	1155	6,5	3,5	1,2	22,75	11,61	11,63	51,1	481
11	1155	7	4	1,2	28	14,69	14,73	52,61	528
12	1155	7,4	4,5	1,2	29,6	13,58	13,36	45,74	507
13	1320	5,8	3	1,2	17,4	8,31	8,33	47,85	427
14	1320	6,5	3,5	1,2	22,75	11,64	11,6	51	476
15	1320	7	4	1,2	28	14,78	14,63	52,24	522
16	1320	7,3	4,5	1,2	29,2	13,43	13,51	45,63	505
17	1485	5,8	3	1,2	17,4	8,35	8,37	48,12	424
18	1485	6,5	3,5	1,2	22,75	11,96	11,66	51,27	473
19	1485	7	4	1,2	28	14,42	14,75	52,69	517
20	1485	7,2	4,5	1,2	28,8	13,3	13,8	46	503
21	1650	5,8	3	1,1	17,4	8,25	8,35	48,02	420
22	1650	6,5	3,5	1,1	22,75	12	11,64	51,17	466
23	1650	7	4	1,1	28	14,42	14,45	51,62	505
24	1650	7,2	4,5	1,2	32,4	15,41	14	46,69	499

Приложение Ж
(Справочное)
Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Относительно небольшая производительность по данной технологии, по сравнению с традиционными методами.
С2. Экологичность технологии, минимальные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.	Сл2. Отсутствие массового производства установок и, следовательно, малое внедрение на мировой и российский рынок.
С3. Сокращение технологического цикла переработки отхода	Сл3. Отсутствие сертификатов качества на данную технологию переработки отходов целлюлозно-бумажного производства.
С4. Отсутствие дополнительных горючих веществ	
С5. Простота монтажа установки и эксплуатация.	
С6. Широкая область применения данной технологии переработки лигнина.	
С7. Относительная дешевизна установки.	
С8. Сокращение количества отходов, а, следовательно, и уменьшение площадей земель, занимаемых под отходы переработки.	
Возможности	Угрозы
В1. Организация массового производства установок.	У1. Отсутствие спроса на новую технологию переработки лигнина.
В2. Целенаправленное сотрудничество с целлюлозно-бумажными предприятиями. Как следствие, изготовление установок на заданную мощность и производительность.	У2. Развитая структура традиционных методов переработки отхода.
В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	У3. Введения дополнительных государственных требований и сертификация технологии.

Приложение 3

(Справочное)

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	+	+	+	+	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+	0	+	+
	B3	+	+	+	+	+	+	+	+
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	У1	-	-	-	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	-	+	-	-
	У3	-	-	-	-	-	-	-	-
Слабые стороны проекта									
Возможности проекта			Сл1		Сл2		Сл3		
	B1		0		0		-		
	B2		0		-		-		
	B3		-		-		-		
Угрозы проекта			Сл1		Сл2		Сл3		
	У1		+		+		+		
	У2		+		+		0		
	У3		+		+		+		

Приложение И
(Справочное)
Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p style="text-align: center;">Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии, минимальные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. С3. Сокращение технологического цикла переработки отхода С4. Отсутствие дополнительных горючих веществ С5. Простота монтажа установки и эксплуатация. С6. Широкая область применения данной технологии переработки лигнина. С7. Относительная дешевизна установки. С8. Сокращение количества отходов, а, следовательно, и уменьшение площадей земель, занимаемых под отходы переработки.</p>	<p style="text-align: center;">Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Относительно небольшая производительность по данной технологии, по сравнению с традиционными методами. Сл2. Отсутствие массового производства установок и, следовательно, малое внедрение на мировой и российский рынок. Сл3. Отсутствие сертификатов качества на данную технологию переработки отходов целлюлозно-бумажного производства.</p>
<p style="text-align: center;">Возможности:</p> <p>В1. Организация массового производства установок. В2. Целенаправленное сотрудничество с целлюлозно-бумажными предприятиями. Как следствие, изготовление установок на заданную мощность и</p>	<p style="text-align: center;">Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>В целом технология плазменной переработки сульфатного лигнина обладает большими плюсами. Желаемое направление развития — это внедрение массового производства и сотрудничество с целлюлозно-бумажными предприятиями, что приведет к укреплению данного метода переработки, как на российском рынке, так и за рубежом.</p>	<p style="text-align: center;">Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>Слабые стороны плазменного метода переработки могут стать большой проблемой для закрепления данного метода на рынке. Модернизация, согласно возможностям данного метода, значительно улучшит технические показатели установок и позволит гибко подстраиваться под нужные</p>
















<p>производительность.</p> <p>В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>		<p>требования производительности и любого заказчика.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новую технологию переработки лигнина.</p> <p>У2. Развитая структура традиционных методов переработки отхода.</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований и сертификация технологии.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>Угрозы научно-технического проекта значительно подрывают авторитет плазменного метода переработки отхода.</p> <p>В этой связи учет факторов угроз, необходим и поможет в будущем исключить все возможные факторы риска.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>Опасные факторы для производства и закрепления технологии на рынке – это сочетание слабых сторон и угроз научно-технического проекта.</p> <p>В данном случае, направление работы – это максимально возможное уменьшение количества уязвимых мест (слабых сторон) и учет угроз производству, как внешних, так и внутренних, негативно влияющих на закрепления технологии на рынке.</p>

Приложение К
(Справочное)

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы	№	Содержание работ		Дол жно сть
Разработка задания	1	Составление и утверждение технического задания на ВКР		Р
Выбор направления исследований	2	Изучение проблемы и подбор литературы		С
	3	Подбор и изучение материалов по теме традиционные методы и переработка технических лигнинов, химия варки древесины		
	4	Календарное планирование работ по теме		
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Моделирование	Расчет показателей горения ВОК на основе технических лигнинов. Выбор оптимальных составов горючих ВОК.	Р,С
	6	технологического процесса на компьютере	ТД расчет процесса плазменной обработки с применением программы «TERRA». Определение оптимальных режимов.	
	7		Оценка энергозатрат на процесс плазменной обработки технических лигнинов.	
	8	Планирование и	Исследования режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ – плазмотрона. Определение оптимальных режимов плазменного стенда.	
	9	проведение экспериментальных исследований	Планирование экспериментов. Определение составов ВОК и режимов переработки в воздушной плазме ВЧФ – разряда.	
	10		Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки технических лигнинов в виде ВОК.	

Приложение Л
(Справочное)
Календарный план-график

№ раб от	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Р	2												
2	Изучение проблемы и подбор литературы	Р,С	5	 											
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	С	18												
4	Календарное планирование работ	Р,С	1				 								
5	Моделирование технологического процесса на компьютере	С	18												
6	Планирование и проведение экспериментальных исследований	Р,С	18							 					
7	Анализ и обработка полученных результатов	С	12												
8	Оценка эффективности полученных результатов	С	2												
9	Составление пояснительной записки	С	18												
10	Проверка правильности оформления пояснительной записки согласно ГОСТу	Р,С	1										 		
11	Подготовка к защите	С	3												



– Руководитель



– Студент

Приложение М
(Справочное)
Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Составление и утверждение технического задания	О				
Изучение проблемы и подбор литературы					И
Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	С				И
Календарное планирование работ по теме	О				И
Моделирование технологического процесса на компьютере					И
Планирование и проведение экспериментальных исследований	С				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Анализ и обработка полученных результатов					И
Оценка эффективности полученных результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности оформления пояснительной записки согласно ГОСТу	С				И
Подготовка к защите	О				И

Приложение Н
(Справочное)

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент	Плазменная обработка	Традиционный метод	Интегральный показатель ресурсоэффективности	
				Плазменная обработка	Традиционный метод
1. Производительность	0,11	3	5	0,33	0,55
2. Отсутствие подготовительных работ	0,09	5	1	0,45	0,09
3. Отсутствие загрязнений окружающей среды	0,11	3	1	0,33	0,11
4. Энергоэкономичность	0,11	5	2	0,55	0,22
5. Степень выгорания серы	0,09	5	3	0,45	0,27
6. Простота монтажа установки	0,07	5	1	0,35	0,07
7. Дополнительные горючие вещества	0,09	2	5	0,18	0,45
8. Уровень проникновения на рынок	0,07	5	3	0,35	0,21
9. Стоимость установки (включая монтаж)	0,05	5	3	0,25	0,15
10. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	5	0,28	0,35
11. Срок выхода на рынок	0,09	5	2	0,45	0,18
12. Наличие сертификации разработки	0,05	2	5	0,1	0,25
Итого:	1	—	—	4,07	2,9

Приложение О
(обязательное)
Plasma recycle sludge lignin